

Contaminación atmosférica. Protección de la atmósfera y medidas correctoras.

Master Profesional en Ingeniería y Gestión
Medioambiental

Año de realización: 2011-2012

PROFESOR
Jesús Rubio flamarique

PROTECCION ATMOSFERICA

- CAUSAS

- Origen natural
- Actividad humana
 - Conjunto de factores como:
 - procesos industriales, actividades productivas y de población
 - cantidad y calidad de los combustibles utilizados
 - condiciones meteorológicas y fisiológicas

- OBJETIVO

- Evitar daños directos a la salud humana (enfermedades, hipersensibilidad)
- Preservar la flora y la fauna (alteraciones foliares, reducción crecimiento,..)
- Evitar alteraciones al medio ambiente (atenuación radiación solar, emisiones caloríficas, precipitaciones)
- Impactos negativos sobre la economía por efectos y gastos directos

PROTECCION ATMOSFERICA

• TIPOS CONTAMINANTES

- Contaminantes gaseosos (O₂, SO₂, NO_x, CO, CO₂, COV,..)
- Aerosoles
- Material particulado (totales, menores 10 micras, menores 2,5 micras)

• FUENTES

- Fuentes fijas:
 - Fuentes puntuales (Generación eléctrica y actividades industriales)
 - Fuentes distribuidas (emisiones inherentes a actividades y procesos)
Consumo solventes, limpieza, recubrimiento superficies, distribución GLP, ..
 - Fuentes naturales (Volcanes, digestión aerobia y anaerobia natural, incendios...)
- Fuentes móviles: (vehículos de transporte, maquinaria no fija, etc.)

PROTECCION ATMOSFERICA

- **CONTROL DE LA CONTAMINACION**
- Suma de acciones preventivas y correctivas
- Acciones preventivas
 - Planificación de los usos del suelo.
 - Realización de Evaluaciones de Impacto Ambiental.
 - Utilización de Tecnologías de baja generación de emisiones contaminantes
 - Reformulación del producto.
 - Modificación de procesos y equipos de fabricación.
 - Optimización del funcionamiento del proceso.
 - Cambio de sistemas de obtención de energía.
 - Sustitución de combustibles.
 - Reciclado y recuperación de subproductos.

Acciones correctivas

- Dispersión de contaminantes.
- Sistemas de reducción de emisiones atmosféricas

PROTECCION ATMOSFERICA

SISTEMAS DE REDUCCIÓN DE EMISIONES ATMOSFÉRICAS

- Clasificación
 - Sistemas de reducción de los contaminantes particulados.
 - Sistemas de reducción de los contaminantes gaseosos.
 - Sistemas mixtos
- Forma de abordar la descontaminación;
 - Primero contaminantes particulados
 - Después, o simultáneamente, contaminantes gaseosos
- Mecanismos de procesos de descontaminación.
 - Para partículas de tipo físico, sin variación de su naturaleza química.
 - Para gases, de tipo físico-químico. Puede variar su naturaleza.

PROTECCION ATMOSFERICA

- Elección del adecuado sistema de depuración de gases

Consideraciones técnicas, económicas y legales

- Desde el punto de vista técnico, el sistema de depuración debe de tener una determinada eficacia y ocupar el mínimo espacio.
- Desde el punto de vista económico debe realizar sus funciones con una inversión y unos costes operativos mínimos.
- Por su parte, las consideraciones legales obligan a que el sistema depurador impida el vertido de determinados contaminantes, sin poder tener en cuenta consideraciones económicas.

PROTECCION ATMOSFERICA

- Factores determinantes en la elección de un equipo de depuración
 - **Contaminante**
 - Distribución del tamaño de partículas.
 - Peso molecular
 - Presión de vapor.
 - Solubilidad.
 - Características de adsorción.
 - Limite inferior de explosión.
 - Reactividad.
 - **Gas portador.**
 - Concentración del contaminante.
 - Caudal.
 - Temperatura.
 - Presión.
 - Humedad.
 - Concentración de oxígeno.
 - Entalpía.
 - Corrosividad.
 - Explosividad.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- Cámaras de sedimentación (fuerza de gravedad).
- Separadores inerciales. (inercia)
 - Impactadores
 - Ciclones (fuerza centrífuga).
- Filtros (cribado e impactación y otros).
 - de fibras,
 - textiles
 - "papel" (alta eficacia y ultra alta eficacia)
- Lavadores húmedos (captación y arrastre por líquidos).
- Precipitadores electrostáticos (fuerzas electrostáticas).

PROTECCION ATMOSFERICA

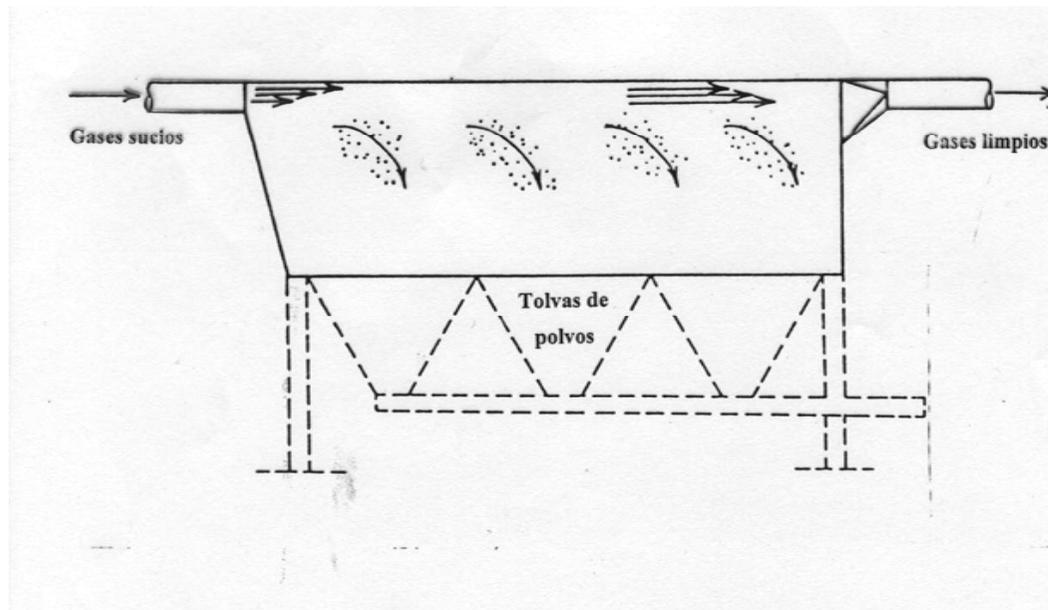
• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

• **Cámaras de sedimentación.**

- Son cámaras paralelepédicas o cilíndricas de grandes dimensiones
- El gas contaminado con partículas se introduce por el extremo superior lateral del paralelepípedo o cilindro, a través de una ranura distribuidora y sale por otra ranura dispuesta en la parte superior de la cara opuesta.
- La velocidad de la corriente gaseosa se reduce para que las partículas que están en suspensión tengan un tiempo suficiente para depositarse en el fondo de la cámara
- La velocidad del gas en la cámara debe ser inferior a 3 m/s ó, en cualquier caso, inferior a la velocidad de arrastre de las partículas

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- **Cámaras de sedimentación.**

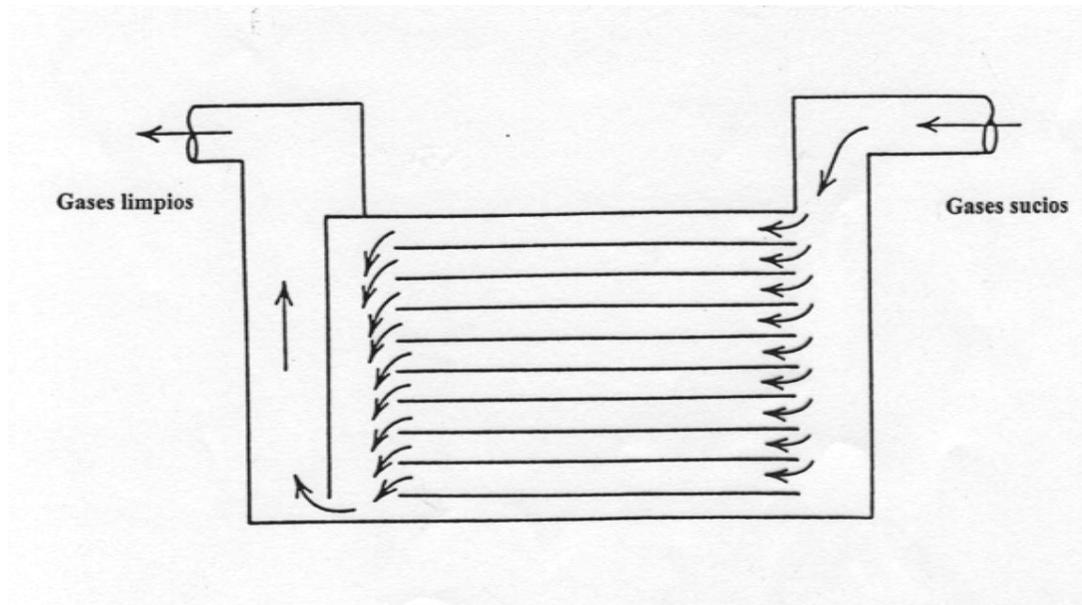


PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- **Cámaras de sedimentación**

- Para aumentar la eficacia de este tipo de cámaras se disponen placas horizontales en su interior con lo que se reduce la distancia vertical a recorrer por las partículas y se consigue una mayor eficacia de separación. Son las llamadas cámaras de **Howard**



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- **Cámaras de sedimentación**

Características:

- Grandes longitudes y volúmenes para poder separar partículas pequeñas,
- Se emplean como etapa previa a otro sistema
- Para la separación de partículas de gran tamaño (diámetros medios $>a$ 0,05 mm).

Ventajas:

- Fácil construcción, baja inversión y bajos costes de mantenimiento anual,
- Tienen bajas pérdidas de carga y por tanto consumen poca energía
- Escasos problemas de abrasión.

Inconvenientes:

- grandes espacios para su instalación
- necesitan que el gas llegue seco
- que el sólido no sea pegajoso

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- **Cámaras de sedimentación**

- **Rendimiento de captación**

$$\rho = 100 (t_p / t_s)$$

siendo t_p tiempo de permanencia del gas en la cámara
 t_s el tiempo de sedimentación

El tiempo de sedimentación es $t_s = h / V$

donde h es la altura de la cámara y V es la velocidad de caída libre de la partícula

V se calcula según la Ley de Stokes: $V = (g \times d^2 \times (\sigma - \rho)) / 18 \mu$

siendo σ la densidad y d el diámetro de las partículas, μ la viscosidad del gas y ρ su densidad.

t_p el tiempo de permanencia del gas en la cámara es $t_p = L / V_g$

donde L es la longitud de la cámara y V_g la velocidad del gas en la cámara..

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

• Separadores inerciales (impactadores)

- Funcionan imprimiendo un cambio brusco a la dirección de la corriente gaseosa, mediante deflectores o pantallas situadas en la corriente del gas, lo que permite la separación de las partículas al chocar contra el obstáculo que desvía los gases, debido a su mayor inercia, aglomerándose con las existentes sobre la pared.

• Uso

- Separación de partículas de diámetro medio superior a $20\ \mu\text{m}$ con pérdidas de carga de 15 a 30 mm de columna de agua
- Se emplean como separadores previos
- La efectividad de estos equipos se correlaciona con la pérdida de carga que sufre el gas al atravesar el equipo. Cuanto mejor efecto tiene el obstáculo mayor será la pérdida de carga y su rendimiento
- Los equipos muy complejos, con gran pérdida de carga, pueden llegar a separar partículas de tamaño de $2\ \mu\text{m}$

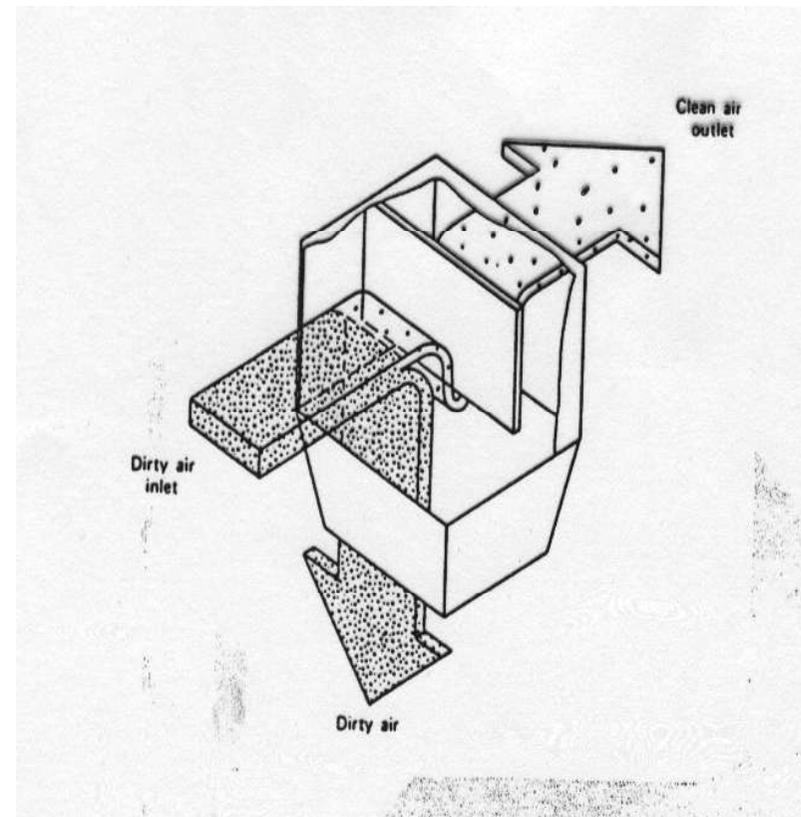
PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- **Separadores inerciales (impactadores)**

- Existen múltiples modelos, mas o menos complejos, desde los simples baffled (paneles perpendiculares al flujo de la corriente) hasta los de orificio o ranurados y con ayuda mecánica.

- Separador de baffled simple

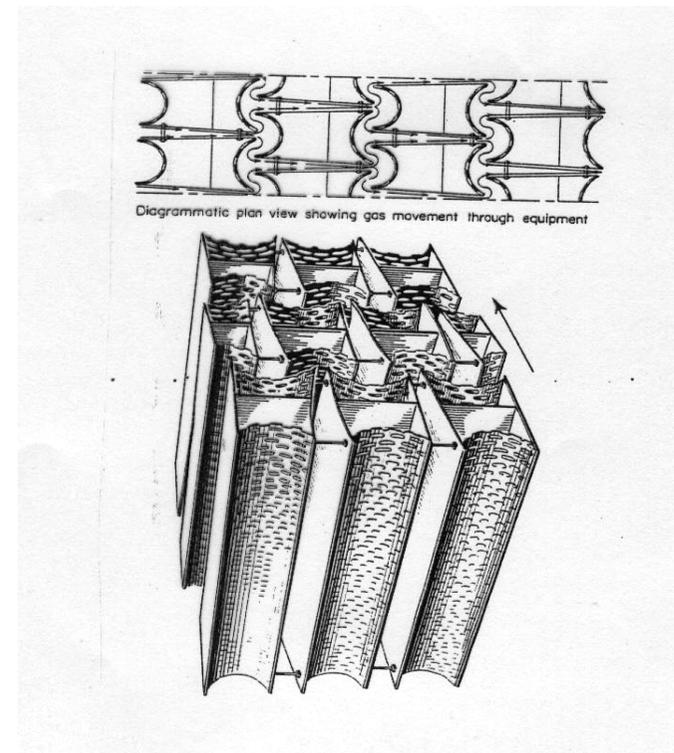
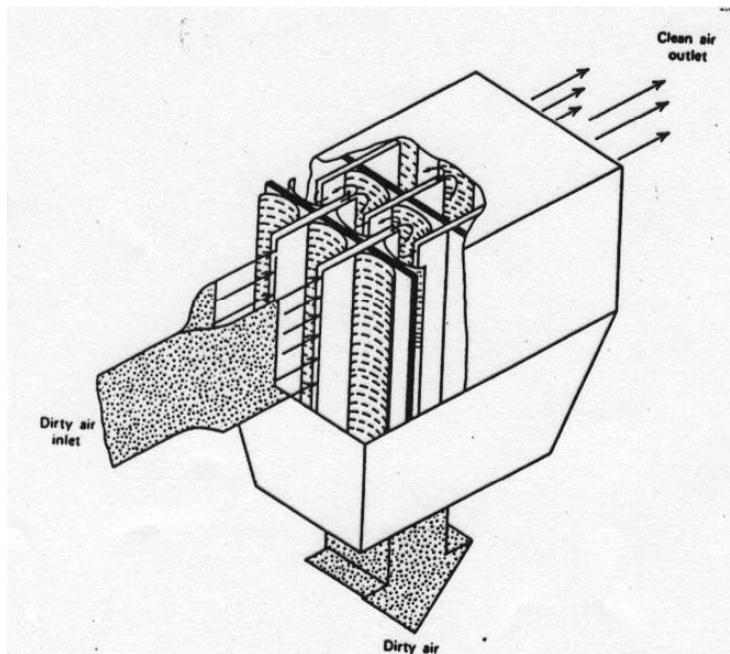


PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- Separadores inerciales (impactadores)

- Separador ranurado complejo



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores inerciales (impactadores)

Ventajas:

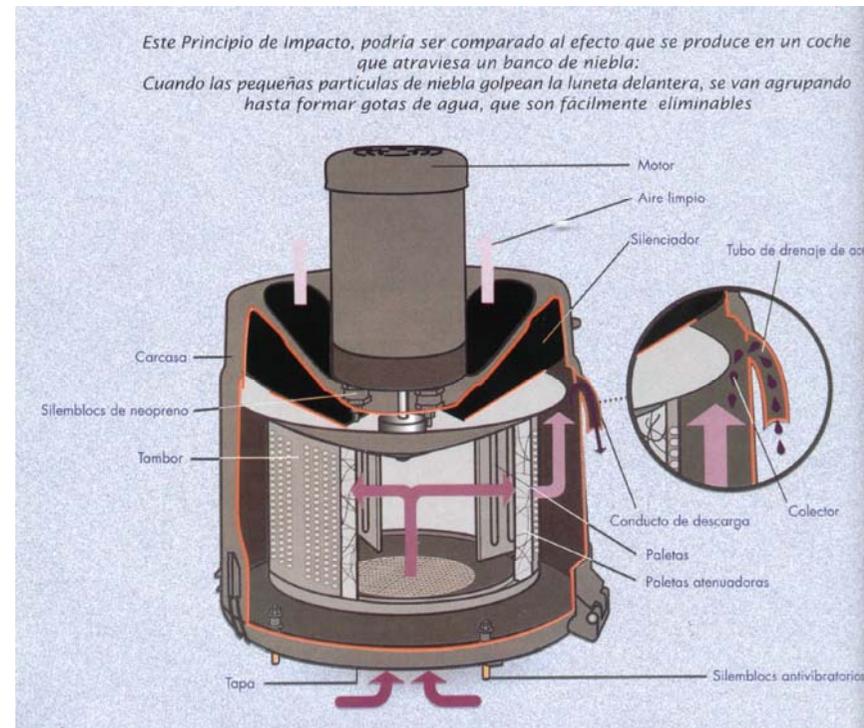
- Son baratos de fabricar y operar (salvo los muy complejos)
- Tienen caídas de presión moderadas en proporción con la cantidad de materia particulada que separan
- Pueden trabajar a temperaturas y presiones elevadas
- Permiten recoger los materiales en seco y necesitan menos espacio que las cámaras de sedimentación.

Inconvenientes:

- Su efectividad no es muy alta. Son equipos previos.
- Deben operar siempre con gases secos y material particulado no pegajoso.
- Los más efectivos tienen mayores costos operativos, mayor inversión y costes de mantenimiento

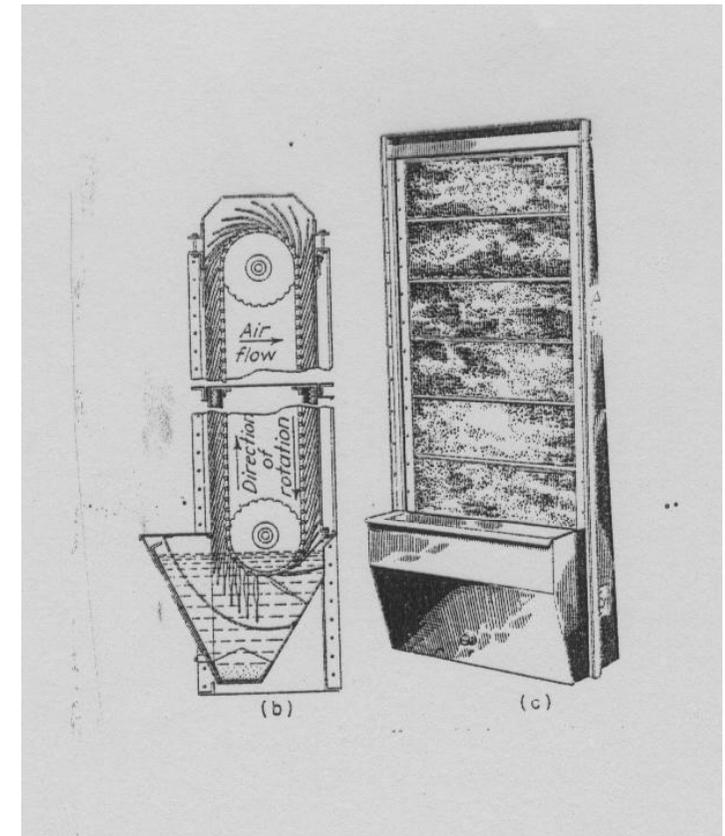
PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores inerciales (Separadores mecánicos o con ayuda mecánica)



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores inerciales (Separadores mecánicos o con ayuda mecánica)



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

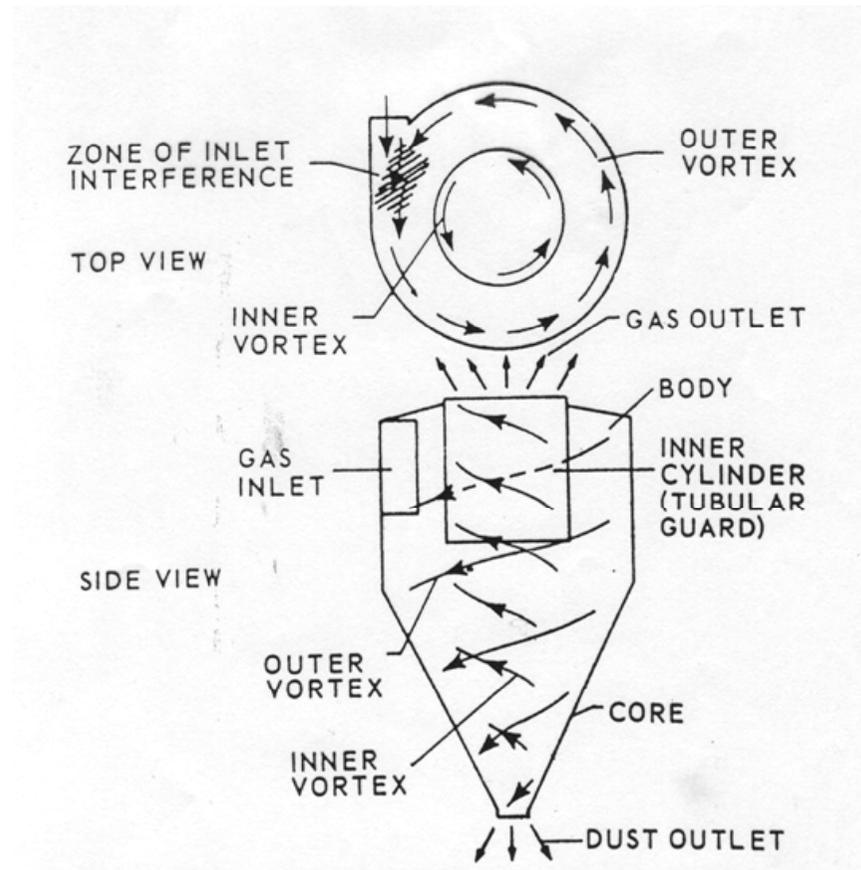
•Ciclones

- Los ciclones utilizan la **inercia** para separar las partículas de la corriente del gas
- La corriente gaseosa **entra de forma tangencial** por la zona superior del cilindro con una velocidad elevada, **chocando contra la pared**, recorriéndola a la vez que **desciende** hasta el fondo en un **movimiento en espiral**
- Cuando **llega al fondo** la corriente **forma otra espiral ascendente** en sentido contrario que **sube por el interior** de la corriente de bajada para **salir** del equipo por su **conducto superior** central.
- En la corriente descendente el movimiento de vórtice hace que **las fuerzas centrífugas** tiendan a **empujar las partículas** suspendidas en el gas hacia las **paredes del ciclón**, aglomerándolas, y empujándolas hacia el fondo de donde pueden ser extraídas.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- Ciclones



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones

- El ciclón se comporta como un **concentrador** de polvo en las paredes.
- Con las partículas más **grandes**, la **inercia vence a la fuerza de arrastre**, haciendo que las partículas alcancen la pared del ciclón y sean colectadas
- Con las partículas más **pequeñas**, la **fuerza de arrastre es mayor que la inercia**, ocasionando que las partículas salgan del ciclón junto con el gas
- La **gravedad** hace que las partículas más grandes que llegan a la pared del ciclón **bajen** hacia la tolva.
- La **descarga** de fondo de los sólidos debe ser completamente **estanca** para evitar escapes de gas
- Los ciclones son uno de los **equipos más empleados** debido a su economía y versatilidad, con la ventaja adicional de carecer de elementos móviles

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones

- La eficiencia de colección de los ciclones varía en función del tamaño de la partícula y del diseño del ciclón.

La eficiencia aumenta con:

- El tamaño de la partícula y/o la densidad
- La velocidad en el conducto de entrada
- La longitud del cuerpo del ciclón
- El número de revoluciones del gas en el ciclón
- La relación entre el diámetro del cuerpo del ciclón y el diámetro del conducto de salida
- La carga de polvo
- El pulimento de la superficie de la pared interior del ciclón

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones

La eficacia del ciclón disminuirá con los aumentos en:

- La viscosidad del gas
- El diámetro del cuerpo
- El diámetro de la salida del gas
- El área de conducto de entrada del gas
- La densidad del gas
- La temperatura de los gases

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones

Los ciclones se suelen clasificar en tres tipos:

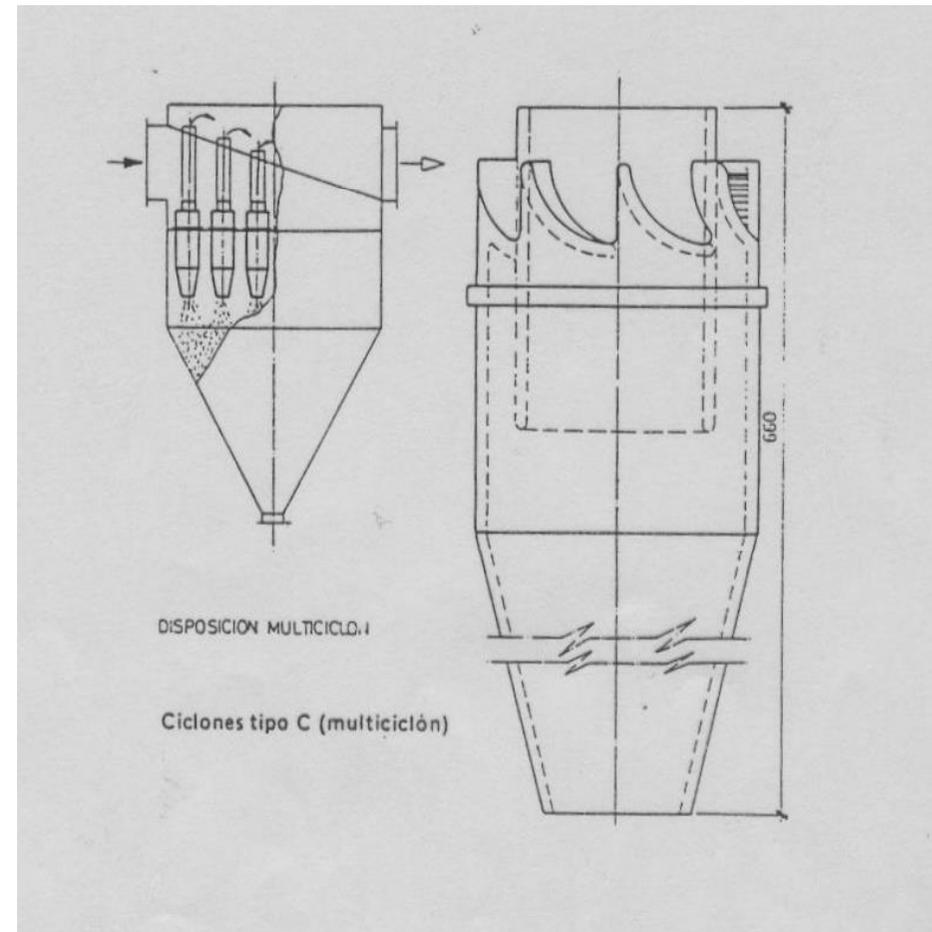
- **Convencionales:** pueden alcanzar rendimientos de hasta el 90% para partículas con tamaño medio superior a **10 µm** y bajos para partículas entre 10 y 2,5 µm. Todos los tamaños.
- **Alta eficacia:** diámetros de cuerpo de pequeño tamaño y longitud proporcionalmente elevada, alcanzan el 90% para partículas con tamaño medio de **5µm** y de hasta el 70% para 2,5µm. Tratan pequeños caudales de gas.
- **Alta capacidad:** con diámetros de cuerpo muy grandes y corta longitud, separan partículas con tamaños medios superiores a **20µm**, siendo prácticamente inefectivos por debajo de 10µm. Tratan caudales muy elevados.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones: Multiciclones.

Conjunto de ciclones de alta eficacia en paralelo que ermiten alcanzar alta eficiencia y alta capacidad al mismo tiempo

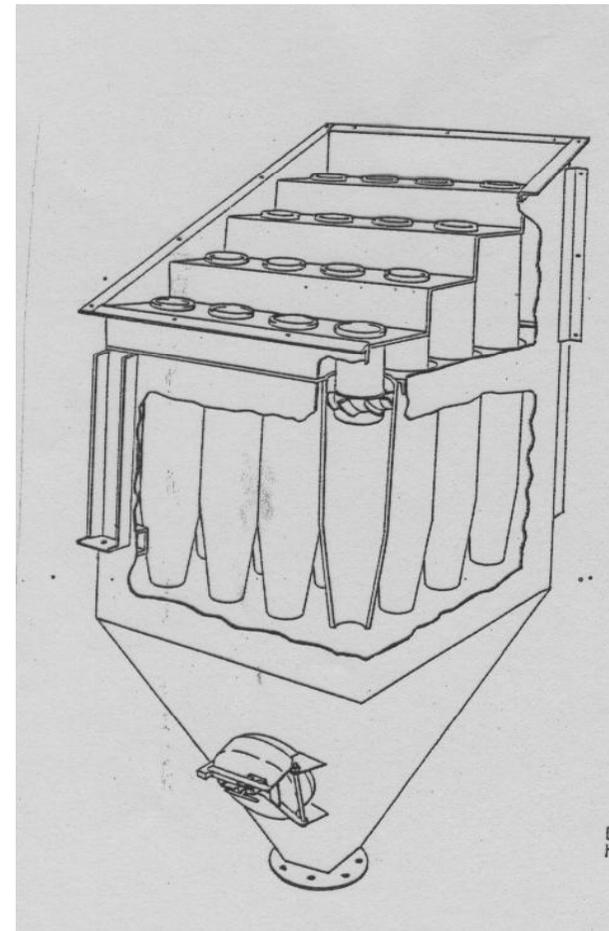


PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones: Multiciclones.

Para abaratar su construcción se introducen en un cuerpo común con una **entrada y descarga única**. Se disponen en su interior sobre una plataforma estanca, que separa los gases entrantes sucios de los salientes depurados, de forma que las pérdidas de carga sean equivalentes en todos ellos



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones: Eficacia

- Fracción en peso de las partículas que se recogen.

El tamaño de partícula que puede eliminarse de una corriente de gas con una **eficacia del 50%** en un ciclón, se define como **tamaño de corte**, d_{pc} , y se representa por la siguiente ecuación:

$$d_{pc} = \left[\frac{9 \mu W}{2 NV (\rho_p - \rho_g) \pi} \right]^{1/2}$$

d_{pc} = Diámetro de corte (ft). Tamaño de partícula colectado con eficiencia del 50%

μ = viscosidad del gas (lb mass/sec-ft = centipoise x $0,672 \times 10^{-3}$)

W = ancho entrada a ciclón (ft)

N = número efectivo de vueltas dentro del ciclón

V = velocidad de entrada del gas (ft/sec)

ρ_p = densidad real de las partículas (lb/ft³)

ρ_g = densidad del gas (lb/ft³)

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Ciclones: Uso

Instalaciones de **funcionamiento continuo**

El **límite mínimo** de aplicación:

partículas de tamaño medio superiores a **5µm de diámetro**, obteniéndose rendimientos de hasta el 95% de separación cuando se emplean multiciclones

• **Ventajas:** Bajos costes de capital

Pocas partes móviles, es decir poco mantenimiento y bajos costes de operación

Caídas bajas de presión (5 a 15 cm de columna de agua) comparada con la cantidad de materia particulada que separan.

Presión y temperatura limitadas únicamente por sus materiales de construcción

Recogen y separan el material en seco.

• **Desventajas**

Eficacia de recolección relativamente baja para tamaños inferiores a 10µm

No pueden manejar materiales pegajosos o aglomerantes

Las unidades de alta eficacia pueden tener altas caídas de presión

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros.

- **Método más antiguo y efectivo** para separar materia particulada en los gases.
- El gas residual se pasa por una tela de tejido apretado, un fieltro, o un "papel" con el fin de que la materia particulada en el gas sea retenida
- El **mecanismo de retención** es por **tamizado o cribado**, **choque** de las partículas contra las fibras del material filtrante y contra el propio sólido retenido anteriormente, **atracción electrostática**, y, dentro de la propia estructura filtrante, por **deposición** de las partículas por las fuerzas de gravedad.
- Las **partículas depositadas** sobre el soporte filtrante crean a su vez, un **nuevo sistema filtrante** que tiene mayor superficie y deja menores huecos lo que permite retener partículas más pequeñas, aumentando la eficacia del filtro.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros.

• Eficacia

La eficacia viene acompañada de un **aumento de pérdida de carga**, por lo que es **necesario limpiarlo** para mantenerse dentro de los límites de operación o sustituirlo si la limpieza no fuera posible.

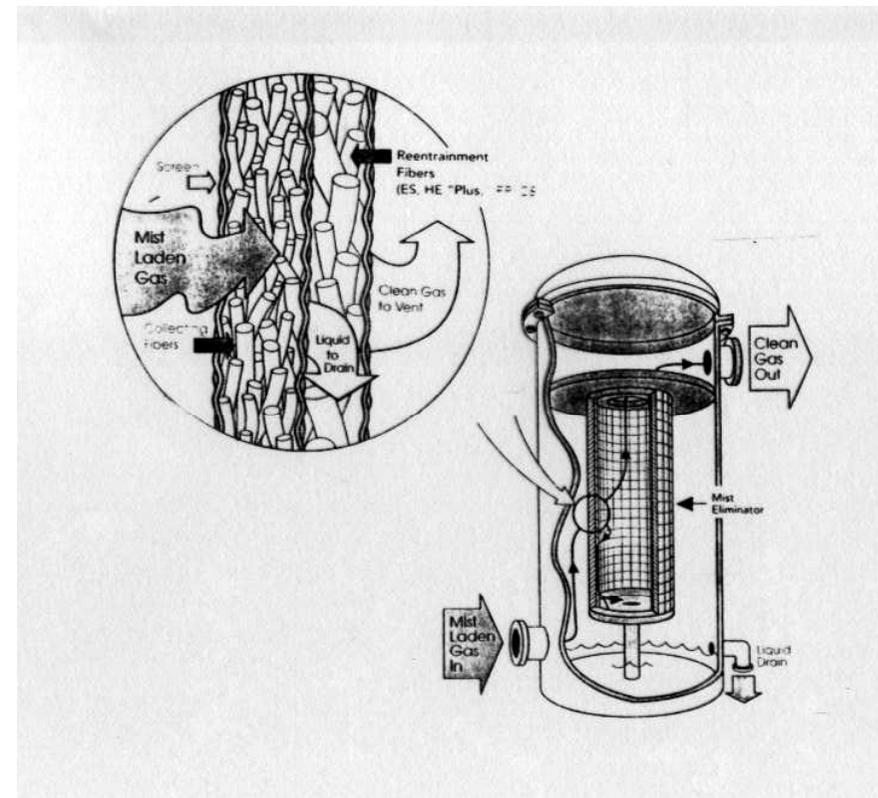
La filtración puede ser **muy efectiva** (99,999%) hasta con partículas muy pequeñas, **menores de 0,5 μm** de diámetro y sus limitaciones derivan fundamentalmente de la **temperatura de los gases**, por la resistencia a la temperatura del material filtrante

•Tipos de filtros:

- Filtros de materiales fibrosos,
- Filtros de "papel" (incluidos cartuchos)
- Filtros industriales o de tela.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de materiales fibrosos.
- Separación de partículas
- sólidas y líquidas



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de “papel”

- Se utilizan cuando se requiere una **eficacia muy alta** en la separación de las partículas
- Utilizan todos los **mecanismos** de captura de partículas y retención, siendo la más significativa las de **impactación, difusión y cribado**. Eficacia proporcional a la pérdida de carga.
- Se clasifican en dos grupos:
 - **HEPA** (High Efficiency Particulate Air)
 - **ULPA** (Ultra Low Penetration Air)

Norma CEN EN 1822		VALOR INTEGRAL MPPS	
Grupo de filtro	Clase de filtro	Eficacia %	Penetración %
HEPA (H)	H-10	85	15
	H-11	95	5
	H-12	99,5	0.5
	H-13	99,95	0.05
	H-14	99,995	0.005
ULPA (U)	U-15	99,9995	0.0005
	U-16	99,99995	0.00005
	U-17	99,999995	0.000005

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de “papel”

• Uso:

- Cuando se requiere un **aire muy limpio** como es el caso de “habitaciones blancas” en hospitales, centros de procesos de datos, la industria nuclear y aeroespacial, plantas de procesamiento de alimentos o fabricación de semiconductores, alimentación de aire a motores, etc
- Limitados a aplicaciones con **baja capacidad** de flujo de aire

•Fabricación:

- A partir de papel, fibras minerales, fibras sintéticas o microfibras de vidrio con o sin fibras vegetales
- Su constitución depende de la resistencia que se necesite, temperatura de operación, el tamaño de poro definido y su resistencia al agua y agentes químicos.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de “papel”

• Forma:

- El medio filtrante está **plisado** para proporcionar una mayor área superficial (medios filtrantes extendidos)
- Se **diseñan** geoméricamente de la forma más conveniente **para alcanzar superficies de filtración elevadas**, plegándolos lineal o circularmente, formando cartuchos
- El filtro hay que **sellarlo** al marco o tapa del cartucho con poliuretano plástico, resina epóxida u otros selladores para evitar pasos del aire, lo que puede ser otro limitador para su uso en determinadas condiciones de temperatura o agentes químicos

• Costes:

- Inversión inicial media (filtros y soportes)
- Los costes de operación y mantenimiento son medianos si se limpian.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de “papel”



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas.

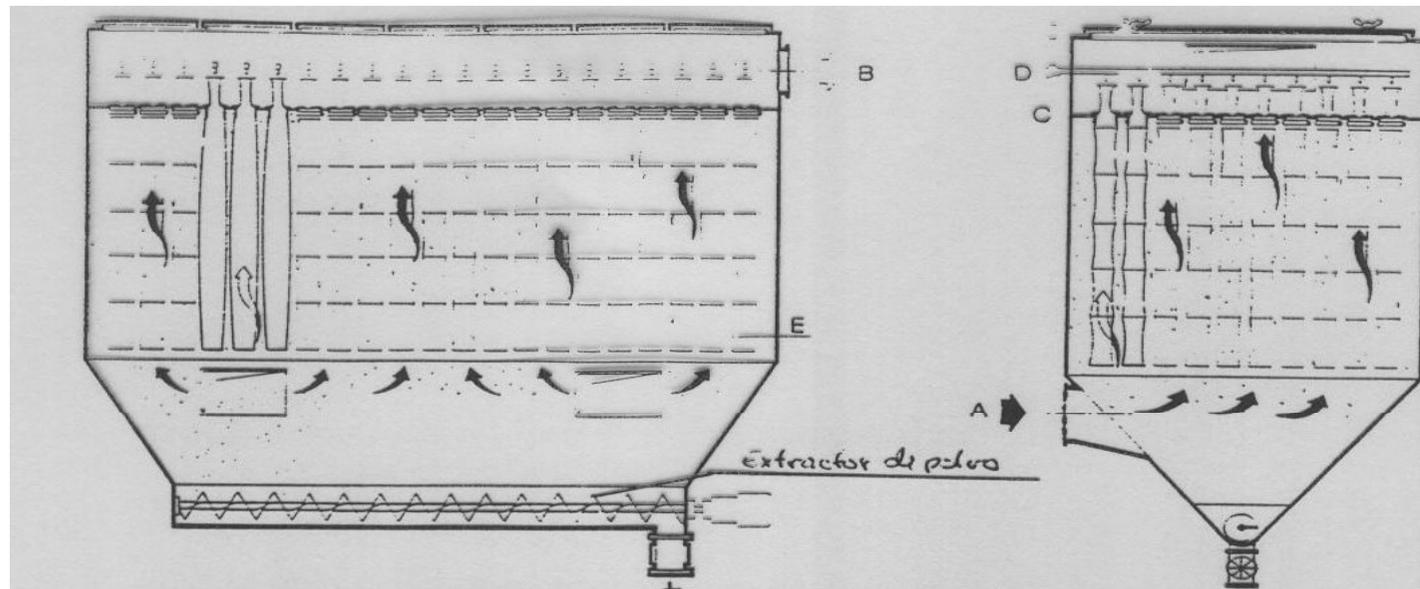
- Denominados **filtros de mangas**
- Los elementos filtrantes están constituidos por “**telas**” **tejidas** y tienen forma tubular, estando cerradas por uno de sus extremos
- Dimensiones comprendidas entre 125 y 500 mm. de diámetro y entre 3 y 15 m. para la longitud
- La temperatura de operación deben ser **inferiores a 300 °C**. para evitar la abrasión e incendio de las mangas
- Es uno de los métodos **más utilizados industrialmente** para la separación de partículas de corrientes gaseosas.
- Un filtro de tela es capaz de trabajar **con alta eficacia** (99,9%) y retener partículas tan pequeñas como 0,5 μm .
- La retención de las partículas se basa en **mecanismos de interceptación e impactación** con las fibras de la tela, de **difusión Browniana, atracción electrostática y deposición gravitacional**.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas

- Los filtros de mangas están constituidos por una carcasa estructural, dividida internamente en dos compartimentos por una placa horizontal que los hace estancos entre sí.
- La placa se utiliza asimismo para colgar las mangas en su interior



PROTECCION ATMOSFERICA

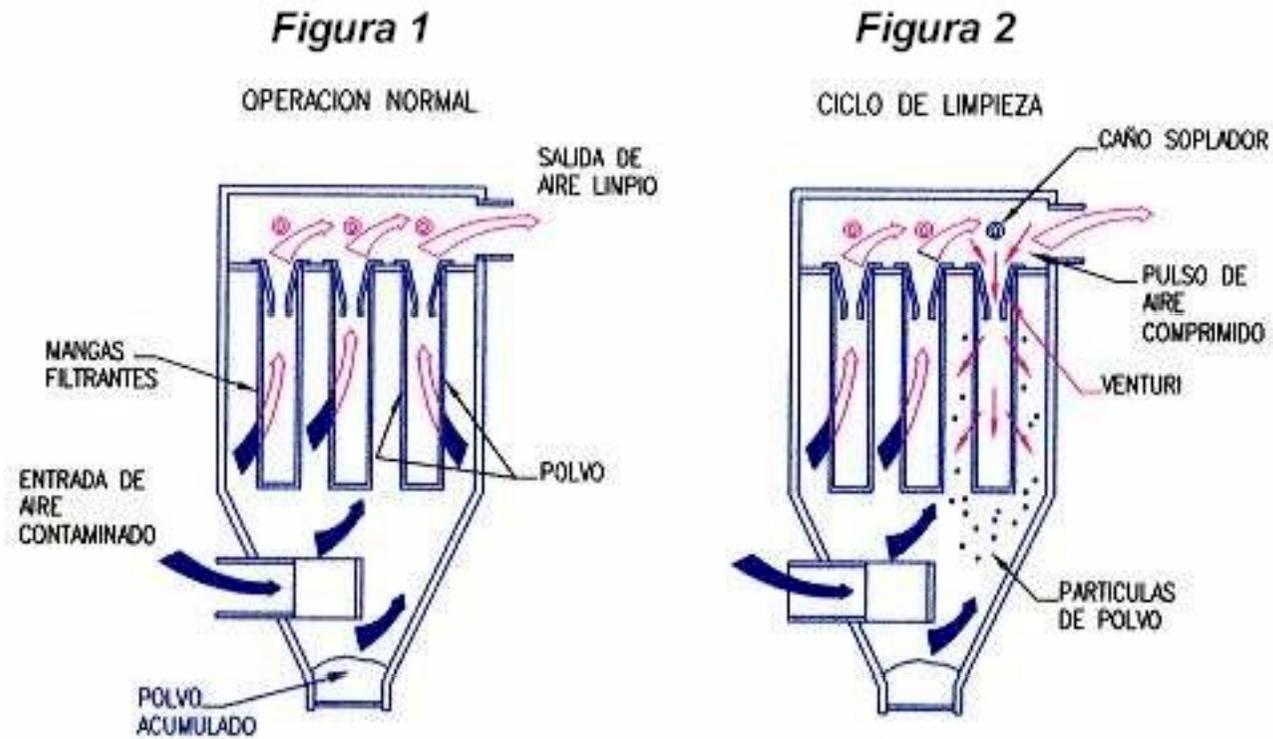
•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas

- La **entrada** de gases sucios se hace por el compartimento **inferior** (plenum sucio)
- La **salida** de gases limpios se realiza por el compartimento **superior** (plenum limpio).
- La **placa horizontal** de separación esta construida con un conjunto de orificios circulares a los que se adaptan y sujetan los **extremos** abiertos de las **mangas**, de tal forma que el paso de los gases desde el compartimento inferior al superior solo puede realizarse atravesando los gases la tela de las mangas.
- Para evitar que las mangas, por la presión de los gases, se **colapsen** y se peguen sus paredes se las dota de una **estructura metálica interna** muy ligera que las permite mantener su forma.
- Periódicamente la **tela debe limpiarse** para impedir su taponamiento y disminuir la perdida de carga que se produce al ir aumentando el depósito de polvo
- Este **polvo** que se desprende de las mangas cae a la zona inferior dotado de unas tolvas de descarga de las que **se extrae** por un sistema mecánico.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas

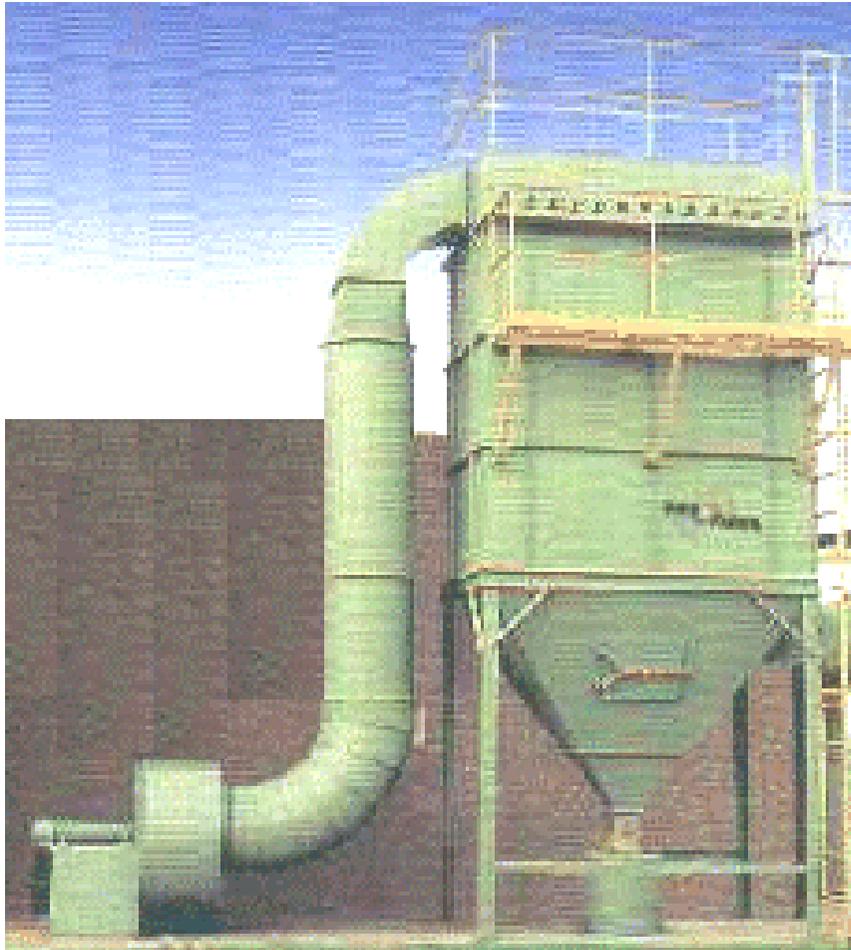


PROTECCION ATMOSFERICA

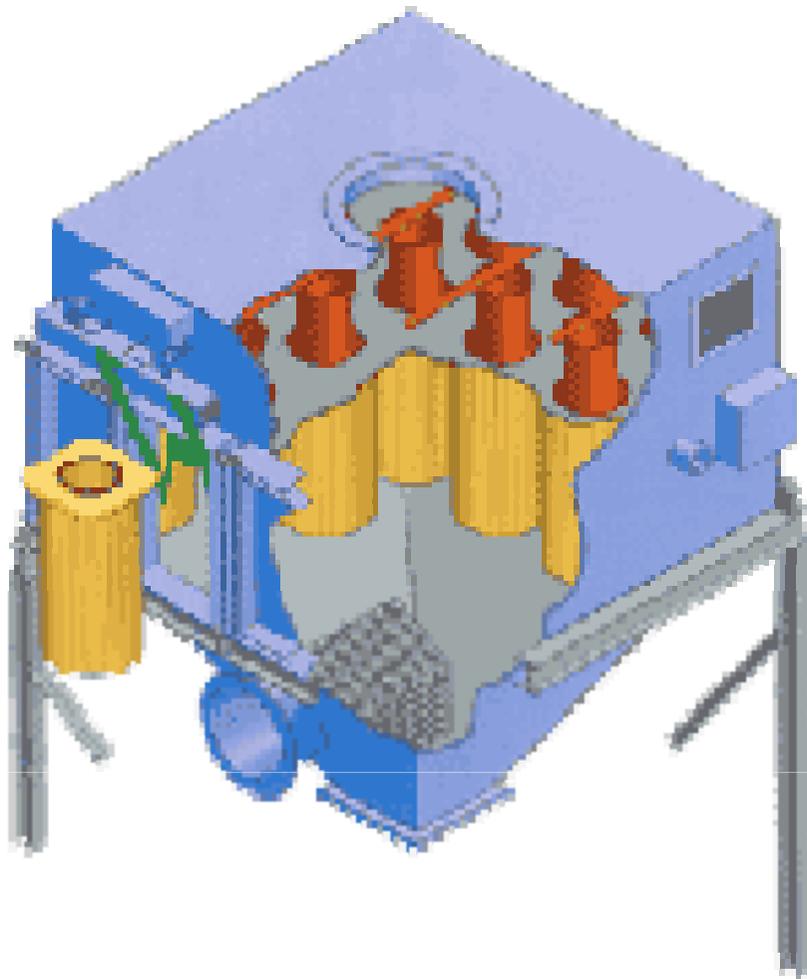
- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas



PROTECCION ATMOSFERICA



PROTECCION ATMOSFERICA



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas.

Tabla 4. Tejidos de filtros de mangas

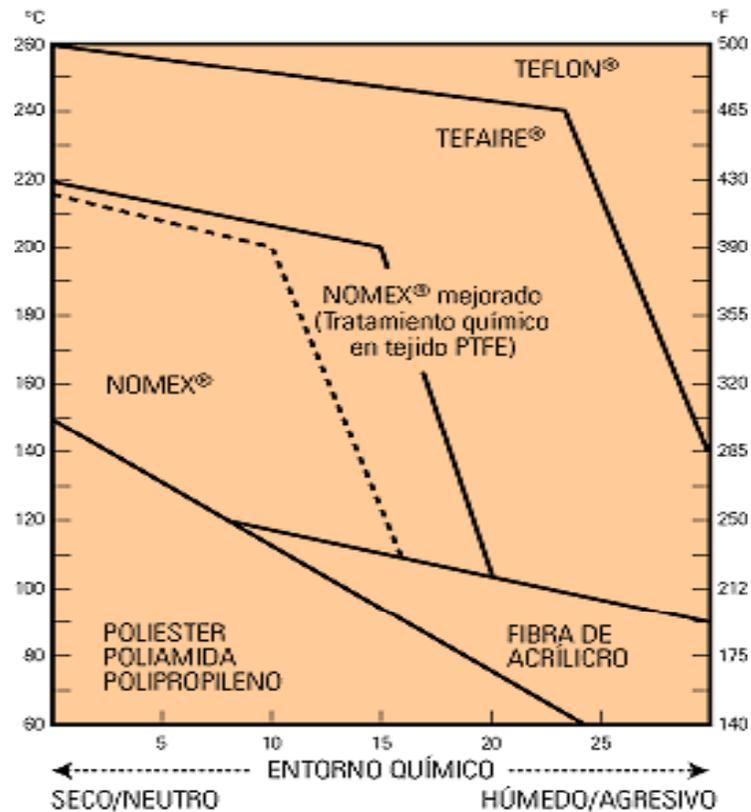
FIBRA	TEMPERATUR A MÁXIMA PARA TRABAJAR EN SECO (°C)	TEMPERATUR A MÁXIMA HASTA (°C)	RESISTENCIA POR CATEGORÍAS						RESISTENCIA AL FUEGO
			ABRASIÓN	RESISTENCIA AL CALOR HÚMEDO HIDROLISIS	ÁCIDOS	ÁLCALIS	DISOLVENTES	AGENTES OXIDANTES	
ALGODON	90	110	*	***	*	***	***	**	INFLAMABLE
LANA	80	100	*	**	**	*	***	*	INFLAMABLE
VIDRIO (FIBERGLASS, VETROTEX)	280	300	*	***	***	***	****	****	NO INFLAMABLE
POLIPROPILENO	90	110	***	***	****	****	**	**	INFLAMABLE
HOMOPOLÍMERO ACRÍLICO (DOLANIT-RICEM)	125	150	**	***	***	**	***	***	INFLAMABLE
POLIÉSTER	150	170	****	*	***	**	***	***	INFLAMABLE
META-ARAMIDA (KONEX, NÓMEX)	200	220	****	**	**	***	***	*	NO INFLAMABLE
POLIFENIL SULFURO (RYTON)	190	200	***	****	***	***	***	*	NO INFLAMABLE
POLIAMIDA (NYLON, PERLON RISAL)	100	120	**	**	**	***	****	**	INFLAMABLE
CO-POLIAMIDA (P-84)	250	260	***	**	***	**	***	***	NO INFLAMABLE
PTFE (TEFLÓN, RASTEX, TOYOFLÓN, PROFILÉN)	250	260	*	****	****	****	****	****	NO INFLAMABLE

**** Excelente *** Bueno ** Medio * Bajo

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas.

- Diagrama de aplicación de telas



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas.

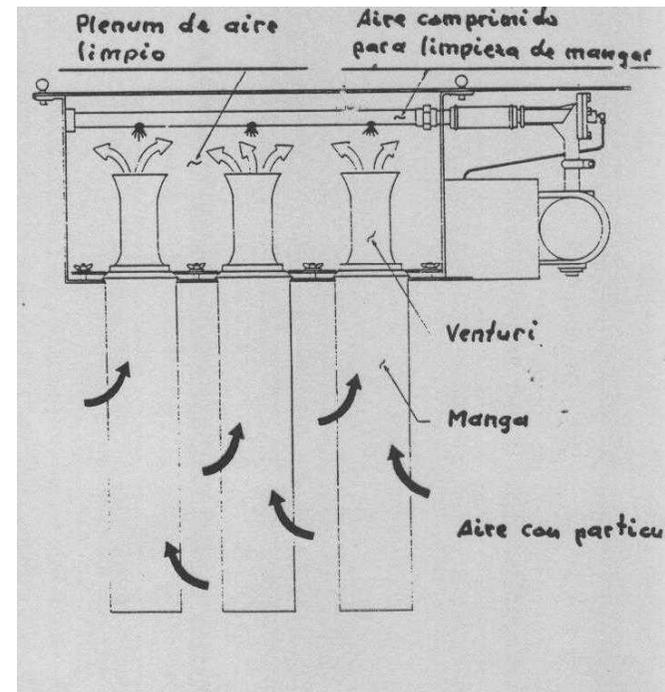
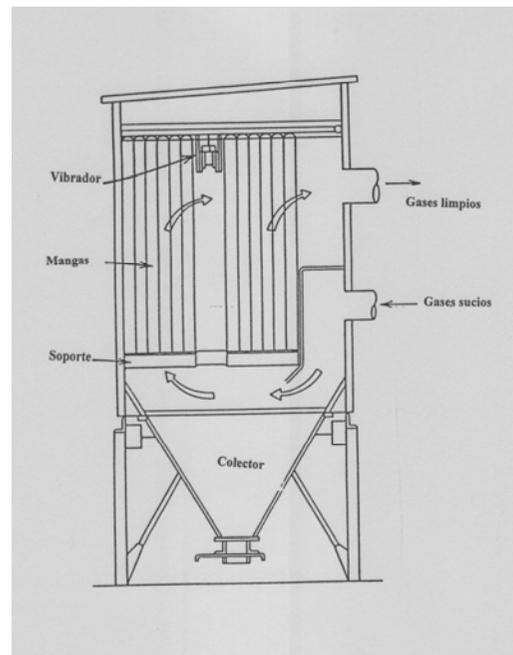
• Clasificación de los filtros

- **Limpieza mecánica.** Cuando se colmatan las mangas de polvo, es decir, cuando se ha alcanzado una pérdida de carga en el filtro preestablecida, entran en funcionamiento unos grupos moto-vibradores que sacuden las mangas haciendo caer el polvo recogido sobre unas tolvas. Este sistema permite trabajar en continuo.
- **Aire inverso.** Cuando se ha alcanzado una pérdida de carga en el filtro preestablecida, entran en funcionamiento unos grupos moto-vibradores que sacuden las mangas haciendo caer el polvo recogido sobre unas tolvas. Este sistema permite trabajar en continuo.
- **Pulsaciones de aire comprimido.** En la limpieza mediante pulsaciones de aire comprimido se inyecta el aire en la zona limpia del filtro y en la boca superior de las mangas accionando una válvula del sistema de aire comprimido, que crea una corriente que atraviesa la tela de dentro a fuera, inflando la manga y desprendiendo la capa de polvo acumulada que cae al fondo del filtro.
- Como resultado de la limpieza, **su eficacia de recolección cambia continuamente**

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas.
- Clasificación de los filtros
 - Limpieza mecánica.

Pulsaciones aire comprimido



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores de capa porosa. Filtros de tela o de mangas.

•Parámetros de diseño:

•Relación **caudal de gases/superficie de tela**. Velocidad con que los gases atraviesan la superficial de la tela (m/min). Oscila entre los 0,3 y 6 m/min.

• **Permeabilidad** de la tela, expresada como el volumen de aire, en metros cúbicos por minuto, que pasa a través de un metro cuadrado de tela, con una diferencia de presión de 10 mm de columna de agua. Varía entre 10 y 100 según el tipo de tela.

• La **pérdida de carga** depende de una serie de factores propios del polvo y del tejido. Con carácter general la pérdida de carga oscila entre 20 y 200 mm. de columna de agua / cm² , (0.002 a 0.02 Kg./cm²). Esta variable es un índice directo de la eficacia de la filtración.

• Características físico-químicas de la tela

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

- Emplean un **líquido**, generalmente agua, para separar las partículas sólidas de la corriente gaseosa en forma de lodo
- Sirven también para **separar gases por la vía de absorción**, siendo los equipos más empleados para controlar las emisiones inorgánicas.
- El **mecanismo** de actuación es por **humectación** del sólido y **arrastre** a paredes del recipiente y fondo
- Se busca siempre que el **contacto** entre la fase gaseosa y la fase líquida sea lo mayor posible
 - por la vía de **pulverizar el agua** a gotas de tamaños muy pequeños y en grandes cantidades impulsándolas con gran energía.
 - creando un **contacto prolongado** entre las dos fases para que las posibilidades de mojar el sólido sean muy elevadas
- Alcanzan **eficacias** en la separación de partículas del 90 al 99.9 %.
- El **líquido** usado en los scrubbers se **recircula** habitualmente, por lo que es necesario purgar del sistema una pequeña parte para extraer los sólidos.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

- Los separadores húmedos tienen la característica de **enfriar** la corriente gaseosa y **saturar** en humedad los gases tratados. Siempre tienen un consumo de agua en su funcionamiento.
- Los separadores por vía húmeda se aplican cuando:
 - se requiere limpiar corrientes gaseosas con un **alto nivel de eficacia**,
 - las partículas sólidas están **acompañadas** de contaminantes **solubles gaseosos**,
 - cuando los gases a tratar son **combustibles**,
 - se desea **enfriar** los gases.

Si existen **dos o más** de estos **condicionantes** se estima que estos procedimientos son viables desde el punto de vista económico.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Los **parámetros de diseño** y las correlaciones utilizadas para especificar el tamaño y otras características del lavador están relacionados con:

- la **cinética de transferencia de materia para los gases** que se disuelven o reaccionan con el líquido
- el **momento de transferencia para las partículas**

•Clasificación:

- Torres: torres de pulverización y torres de relleno
- Lavadores: tipo Venturi y de orificio.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Torres de pulverización.

- Las torres de pulverización **atomizan un líquido** por la parte superior de la torre vacía, que contiene en su interior algunos elementos mecánicos como los distribuidores de flujos que ayudan a mantener un caudal equivalente en toda la sección de la torre.
- Las gotas generadas caen mientras el gas, que se introduce por la parte inferior de la torre, asciende en contracorriente. En su caída **las gotas colisionan con los sólidos**, humectando y arrastrando a las partículas y absorben algunos componentes gaseosos del gas portador
- Las **partículas sólidas** submicrónicas **impactan** con la **superficie de las gotas**, penetrando dentro de las mismas, siendo aglomeradas y consecuentemente extraídas del sistema
- El **líquido**, que contiene las partículas retenidas y los gases contaminantes absorbidos, desciende al fondo de la torre de donde se **extrae** para su limpieza y **recirculación** a la cabeza de la torre.
- En la parte **superior** de la torre de pulverización se instala un **eliminador de nieblas** para retener los aerosoles arrastrados por el gas.

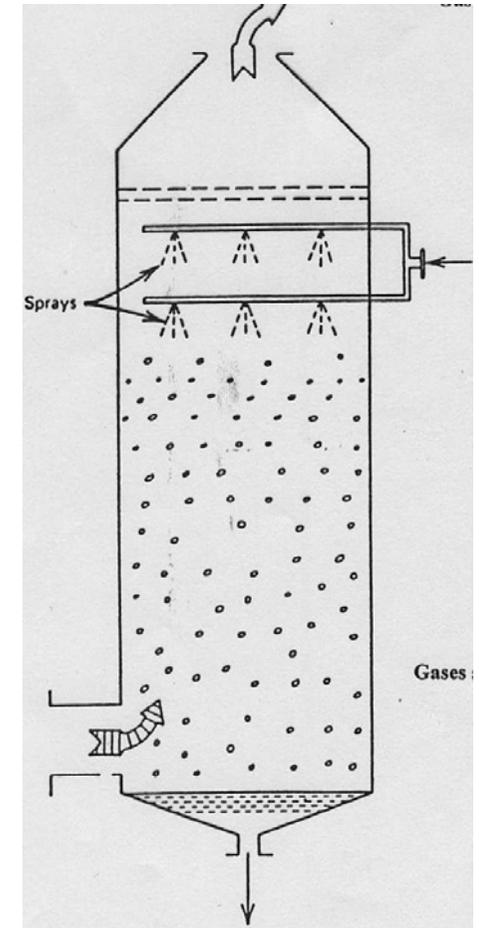
PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Torres de pulverización.

- Elevada eficacia para partículas con diámetros superiores a los 10 μm
- El líquido se pulveriza en gotas con un tamaño óptimo de 500 a 1000 μm .
- Son fáciles de instalar y mantener. Bajos costes.
- Pueden trabajar con gases a cualquier temperatura
- Usan caudales importantes de líquido (3 a 15 l/m³ de gas)
- Baja eficacia eliminando partículas inferiores a 5 μm
- Generan residuos líquidos y lodos que hay que tratar
- Sometidos a corrosión por trabajar con un sistema húmedo
- Problemas de congelación.
- Necesidad de un separador de gotas



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

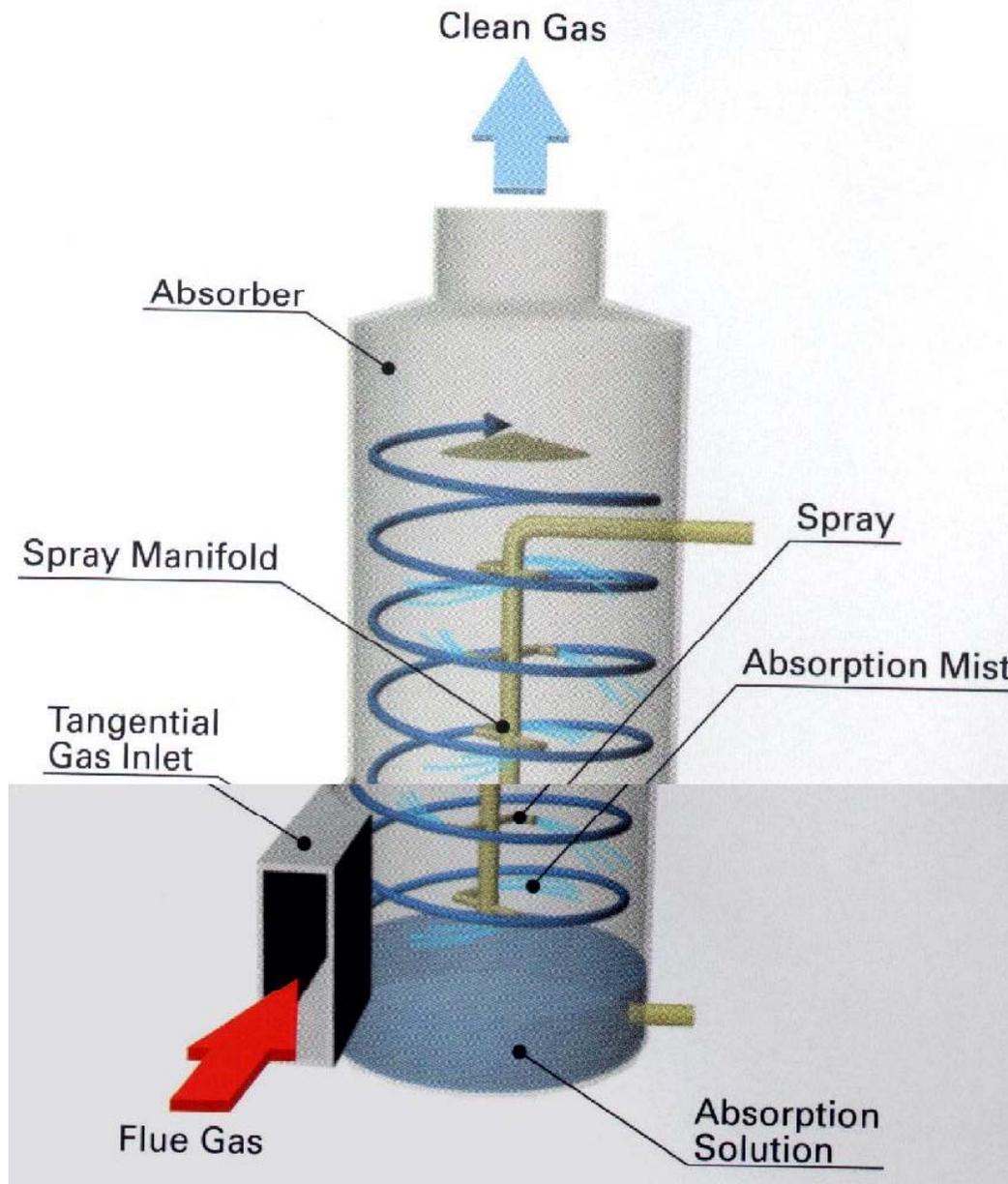
•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Lavadores ciclónicos

Son ciclones provistos de un sistema de pulverización de líquidos para arrastrar las partículas que transporta el gas

Situación de los sprays:

- Próximos a la entrada de gas
- En las paredes del ciclón
- Aspersion central



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Torres de relleno.

- En las torres de relleno, y en su cuerpo central, se introduce un **relleno permeable** que permite aumentar la **superficie de contacto** entre el gas y el líquido de lavado,
- Se utilizan **rellenos preformados** de alta superficie por unidad de volumen, poco peso y alto coeficiente de espacios huecos como sillas de montar, intalox, etc..
- El **líquido se pulveriza** y cae sobre el material de relleno, mojando sus paredes y arrastrando las partículas que se han humectado, cayendo a la parte inferior de la torre.
- El gas se introduce por la parte inferior y a través del relleno sufre **cambio bruscos de dirección** chocando contra las paredes húmedas depositando las partículas
- El **líquido se recircula** a cabeza de la torre. Suele ir cargado con un porcentaje de sólidos.
- El **líquido debe purgarse** para mantener unas concentraciones adecuadas de sólidos en suspensión y productos y gases disueltos
- Un **eliminador de nieblas** retiene las partículas líquidas arrastradas por el gas antes de salir del equipo, aunque en este caso es menos necesario que en las torres de pulverización

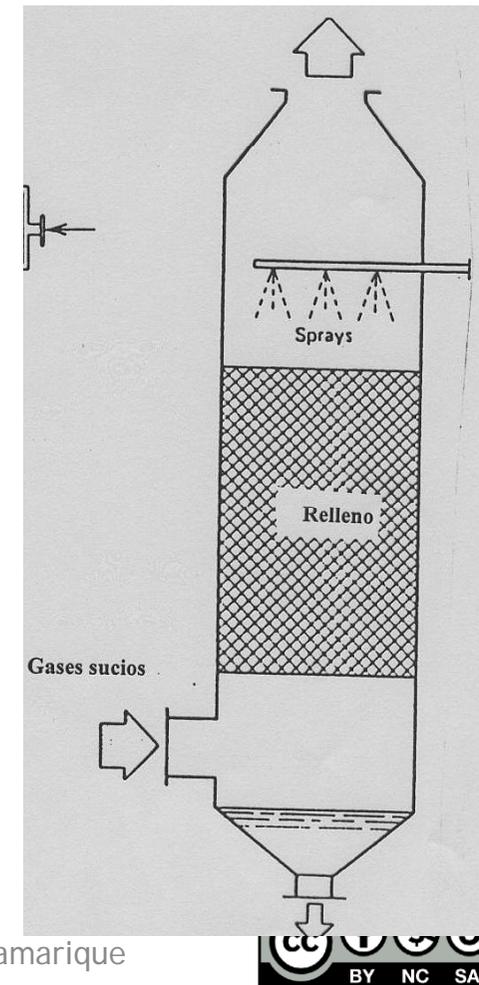
PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Torres de relleno.

- Los caudales de líquido en las torres de relleno suelen ser de 1 a 3 l/m³ de gas
- Las torres de relleno son muy efectivas tanto en la separación de partículas como en la absorción de gases contaminantes
- Cuando trabajan con corrientes de gases muy cargadas en polvos tienden a taponar el relleno, creando caminos preferentes a los gases
- Más caros de construcción y mantenimiento que los de pulverización
- Tienen las mismas desventajas que las torres de pulverización y mayor pérdida de carga



PROTECCION ATMOSFERICA



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores por vía húmeda (Scrubbers).



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES

PARTICULADOS

- Separadores por vía
húmeda (Scrubbers).



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

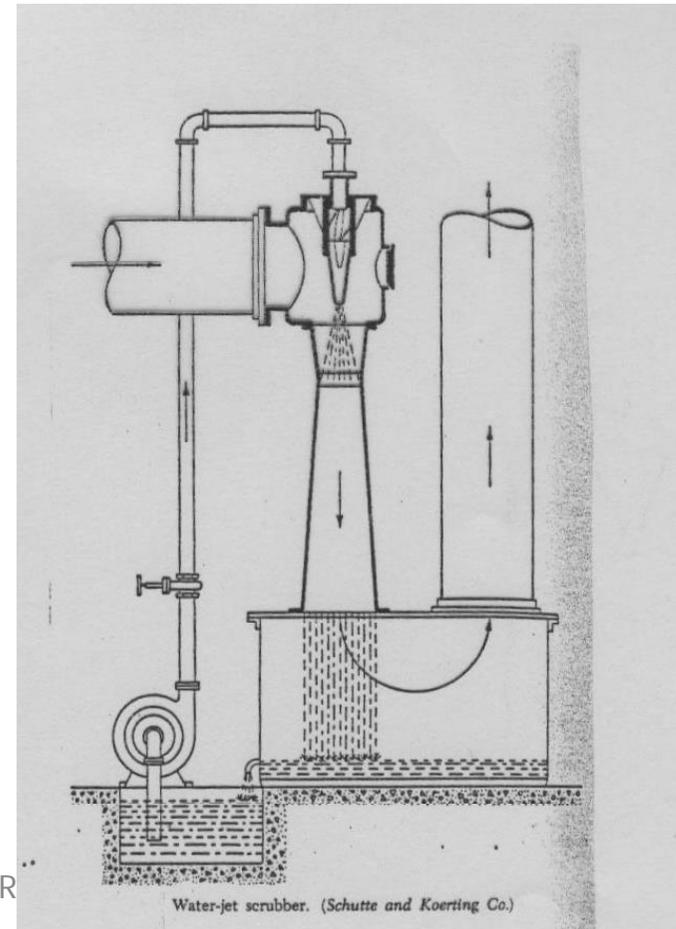
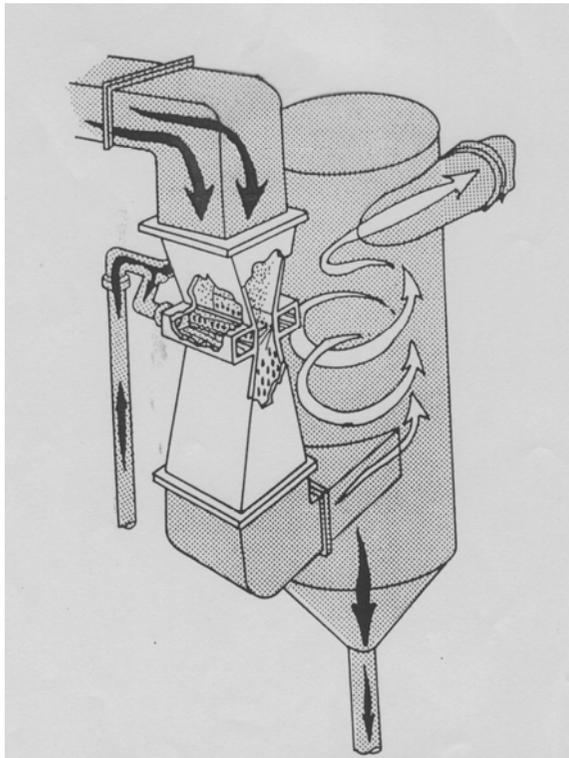
•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Lavadores Venturi y de Orificio.

- Los lavadores tipo venturi y orificio utilizan la **velocidad del gas portador** para dispersar el líquido y crear un contacto turbulento entre el mismo y el gas
- Su **eficacia** depende del **flujo y la presión del gas** y de la **relación de caudal** de líquido con el caudal del gas.
- La **energía cinética del gas** se utiliza para **dispersar** la fase líquida.
- El **gas** se introduce por la **parte superior** y el líquido es captado en la zona mas estrecha del mismo (cuello) por efecto de la depresión que se crea al aumentar la velocidad de paso del gas en la misma.
- En esa zona de **contacto turbulento** se produce un choque entre las partículas sólidas portadas por el gas y las gotas del líquido que se han producido, **humectándose** las partículas sólidas
- A la salida de estos equipos es necesario disponer de un elemento o equipo **separador** de los **gases y los líquidos** cargados de las partículas sólidas, utilizándose de forma habitual un cuerpo ciclónico
- Posteriormente que **tratar estos líquidos** para separar los sólidos antes de la recirculación de los líquidos limpios.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Separadores por vía húmeda (Scrubbers).
- Lavadores Venturi y de Orificio.



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Separadores por vía húmeda (Scrubbers).

• Lavadores Venturi y de Orificio

- Estos lavadores utilizan la energía del gas para, al hacerlo pasar por un Venturi, pulverizar en su seno el líquido de lavado.
- Se requiere para que sea efectivo unas velocidades del gas en el cuello de 60 a 120 m/s, lo que supone unos consumos de energía elevados.
- Este equipo trabaja con alta eficacia, superior al 99%, y es capaz de retener partículas del rango de 0,2 a 1,0 μm .
- La pérdida de carga se debe a la fricción de las superficies fijas y a la propia aceleración del fluido
- A la salida de estos equipos es necesario disponer de un elemento o equipo separador de los gases y los líquidos cargados de las partículas sólidas, utilizándose un cuerpo ciclónico o un sistema de impactación con un depósito inferior que permite recoger los líquidos cargados de partícula

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

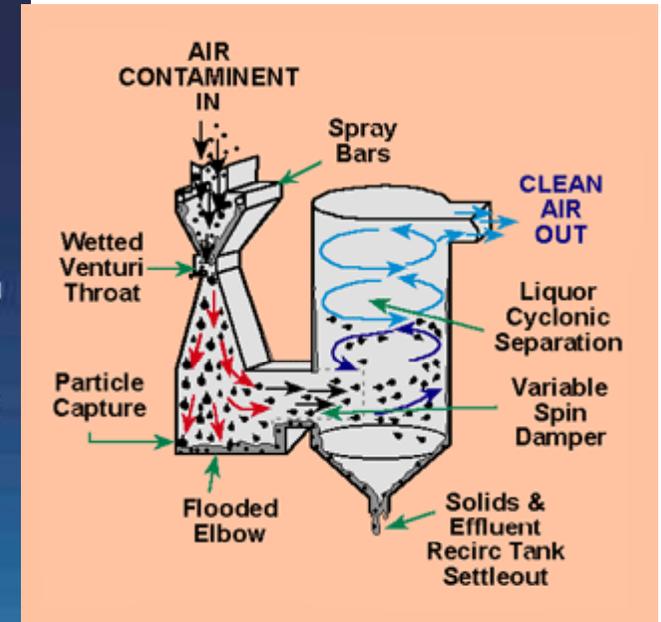
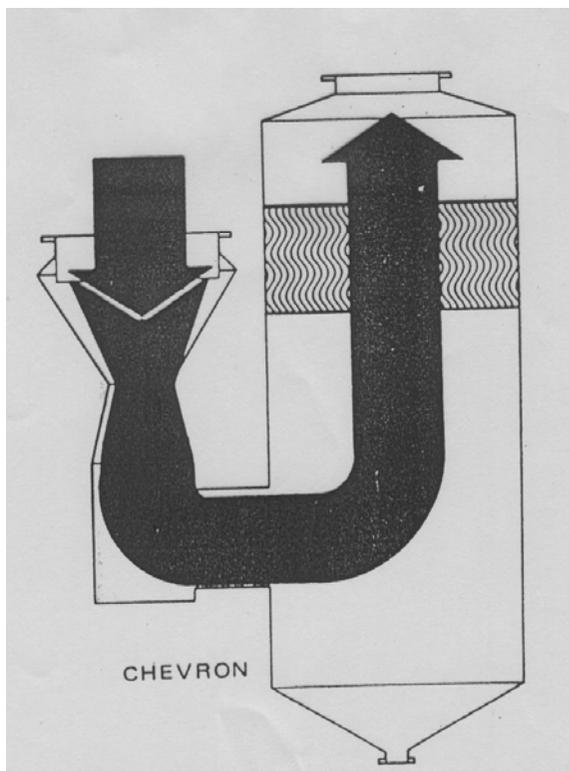
•Eliminadores de nieblas

- Dependiendo del tipo de lavador usado y del **número y tamaño de las gotas de líquido** formadas, se hace necesario separar de la corriente gaseosa las gotas arrastradas.
- De no hacerlo en la salida de los gases a la atmósfera al enfriarse se produce una **niebla**, e incluso una **lluvia**, originada por las gotas arrastradas.
- Como eliminadores de nieblas se utilizan **impactadores**, ya descritos, y su complejidad dependerá del tamaño de la partícula líquida que se quiera retener.
- El **tamaño de las gotas** depende del sistema de pulverización empleado. En los lavadores de **orificio** este tamaño es de unos **200 μm** , y cuando el sistema es de **muy alta energía** este tamaño puede disminuir hasta los **40 μm** . En los sistemas de **baja energía** el tamaño aumenta hasta los 1000 – 1500 μm .
- Los eliminadores de nieblas se **diseñan** de acuerdo con el **tamaño de estas gotas**, y utilizan procesos de separación física basados en **fuerzas gravitacionales e inerciales**. Se pueden utilizar muchos tipos, desde ciclones, impactadores, cámaras con baffles en zigzag, de fibras, o mallas superpuestas

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

- Eliminadores de nieblas



PROTECCION ATMOSFERICA

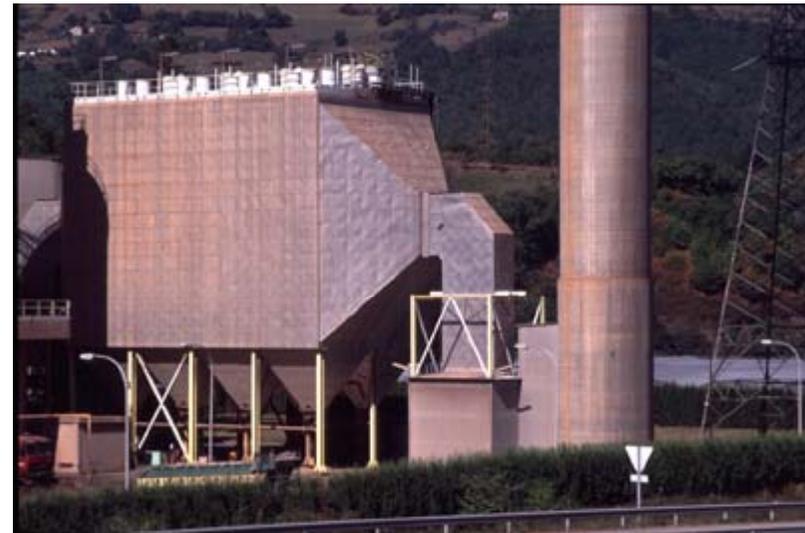
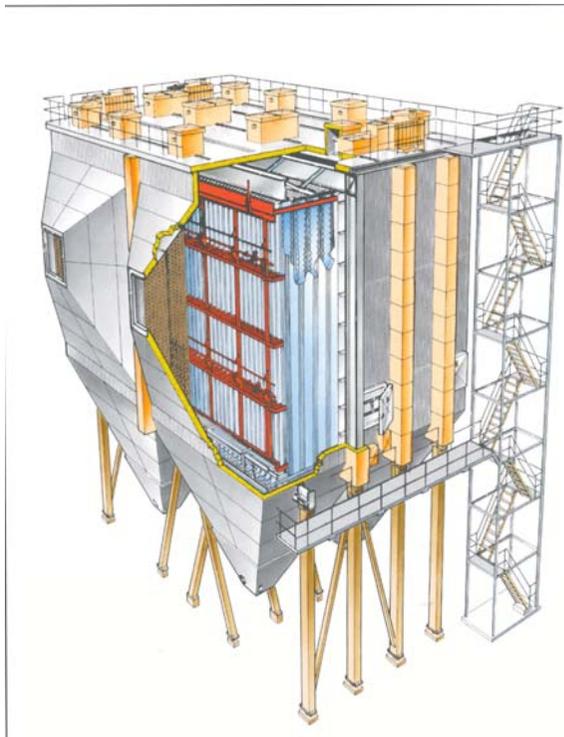
•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- Proceso en el cual la **materia particulada** en un gas **se separa** del mismo mediante **fuerzas electrostáticas**, depositándola sobre una superficie colectora de la que se separa posteriormente para sacarla del sistema.
- Las partículas sólidas se **cargan eléctricamente** cuando pasan a través de los **gases ionizados** creados por **efecto corona** por un **electrodo emisor** que se mantiene a un alto voltaje
- Las **partículas cargadas** son **atraídas por un electrodo colector de carga contraria**, puesto a tierra, donde se **depositan y descargan**, siendo separados del mismo.
- Los electrodos **colectores** son de placas o tubos y los electrodos **emisores** de alambre o de varillas rígidas.
- Se emplean para eliminar partículas de **corrientes gaseosas** que pueden **ionizar fácilmente** (O₂, CO₂, SO₂, etc.),
- **Depuración de gases en la industria** química de cabecera, siderurgia y centrales térmicas
- Equipos que requieren **elevadas inversiones** y ocupan **grandes espacios**.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS
- Precipitadores electrostáticos.**

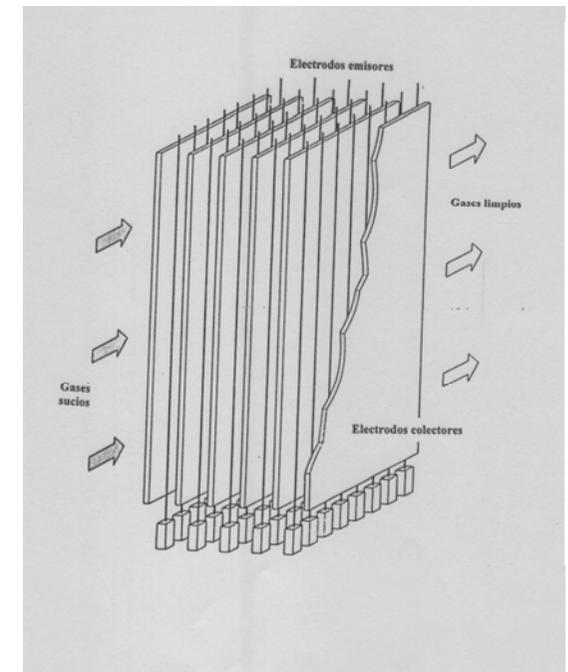


PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- El gas según va atravesando el cuerpo del electrofiltro va **depositando las partículas** sobre los **electrodos colectores** saliendo limpio por la cara opuesta.
- El **cuerpo central** del electrofiltro son **hileras de electrodos emisores y colectores** situados alternativamente, que crean unos canales por donde pasan los gases.
- Estos **electrodos se cuelgan** de la estructura del electrofiltro a distancias perfectamente prefijadas para que los campos entre los mismos sean constantes, dotándoles de amarres o contrapesos para que no se desplacen por efecto del paso de los gases.
- Los electrodos **emisores** se conectan en la parte superior al **sistema de carga eléctrica**, situado en la zona externa superior del electrofiltro (transformadores y rectificadores de corriente).
- Los electrodos **colectores** cuelgan de una estructura donde se sitúan los **elementos de vibración o golpeteo** que permiten descargar los sólidos depositados sobre los mismos.

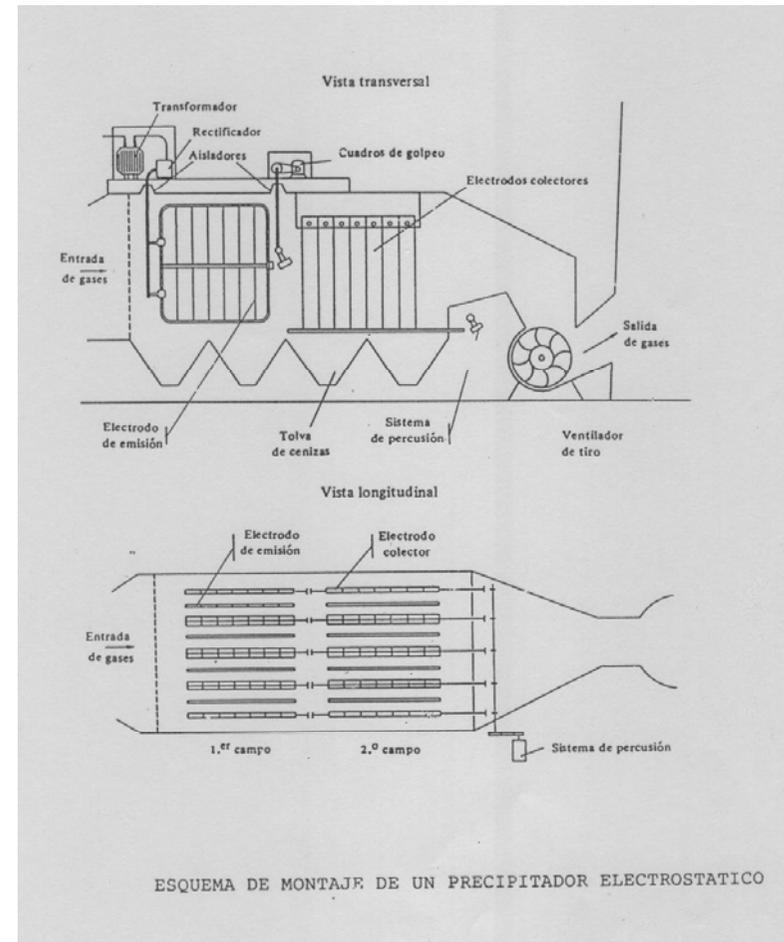


PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- Un electrofiltro típico trabaja a **tensiones de 45.000 V**, aplicados a los electrodos de emisión que se encuentran a una **distancia de unos 11 cm (4,5 in)** de los electrodos colectores, produciendo un **gradiente de voltaje de 10 kV/ in**.
- El **tamaño medio de partículas** retenido por los precipitadores es del **orden de 10 μm** , aunque los más modernos pueden llegar hasta **1 μm y tamaños inferiores**.
- Las partículas más **difíciles de colectar** están entre **0,2 y 0,4 μm** , al encontrarse posiblemente en la región de transición entre las cargas de campo y la difusión



PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- El **rendimiento** depende mucho de variables como el caudal de gas, temperatura, humedad, resistividad de las partículas y su distribución de tamaños.
- El rendimiento se calcula en función de la concentración de salida:

$$\mu = (C_e - C_s) / C_e$$

C_e = Concentración de partículas a la entrada.

C_s = Concentración de partículas a la salida.

- Los factores más importantes son:

El área específica de descarga, definida como la relación entre el área de los electrodos colectores y el caudal de gas (se considera adecuada una relación del orden de 180 m²/m³/s)

La resistividad de las partículas (la mayoría de las partículas procedentes de operaciones industriales está en el rango de 10⁹ a 10¹⁵ ohm-cm.)

La velocidad de migración, velocidad con que una partícula cargada se desplaza hasta el electrodo colector, y que depende de una serie de factores como: naturaleza y forma de la partícula, temperatura, humedad, forma de los electrodos emisores y forma de descarga de los electrodos colectores

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- La resistividad de las partículas

Es la propiedad que caracteriza su resistencia eléctrica. Esta relacionada con las condiciones de operación del electrofiltro por la expresión:

$$\rho_p = (S_t \times V)/(d \times I)$$

ρ_p = Resistividad de la partícula

S_t = Superficie transversal de la capa de polvo

V = Tensión entre los electrodos

d = Distancia entre los electrodos .

I = Intensidad de corriente

- La resistividad varía con la temperatura y la humedad de los gases. La presencia de acondicionantes también la hace variar (ácido sulfúrico, amoníaco, potasa. etc).
- Si la resistividad de una partícula está dentro de los límites normales la partícula se carga eléctricamente al pasar por el campo de alto voltaje.
- Una vez cargada es conducida por el gradiente de potencial existente entre los electrodos y las partes puestas a tierra hasta los colectores.
- Una vez captada pierde parte de su carga en el electrodo colector, pero mantiene una carga suficiente para mantener las partículas sobre el mismo.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- La resistividad de las partículas

- Si la resistividad es **muy alta**, la partícula se resiste a abandonar su carga una vez captada por el electrodo colector. De esta forma, el lecho de polvo depositado en el electrodo colector actúa como un aislante disminuyendo el rendimiento del electrofiltro.

Para mejorar el rendimiento se pueden enfriar los gases con inyección de agua pero tratando de evitar el punto de rocío

Cuando el sólido depositado sobre los electrodos colectores es difícil de separar por su alta resistividad pueden emplearse electrofiltros húmedos para arrastrar las partículas

- Si la resistividad es **muy baja**, la partícula abandonará rápidamente su carga sobre el electrodo colector y se reintegrará rápidamente a la corriente gaseosa.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- El **rendimiento** de un electrofiltro $\mu = (C_e - C_s) / C_e$

depende de las variables recogidas en la siguiente expresión:

$$\mu = 100(1 - e^{-W.S/Q})$$

μ = Rendimiento del electrofiltro en tanto por cien.

e = Base de los logaritmos neperianos.

W = Velocidad de migración (m/s).

S = Superficie total de los electrodos de depósito (m²).

Q = Caudal de gases (m³/s)

Conociendo la **velocidad de migración** de las partículas, se calcula la superficie colectora total. Luego hay que repartir esta superficie dando al electrofiltro sus tres dimensiones, número de pasillos y número de campos de precipitación

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- La **velocidad del gas** cuando atraviesa el electrofiltro (relacionada con el área específica de descarga) tiene una gran influencia en el rendimiento del electrofiltro (μ) si se tiene en cuenta la expresión matemática vista anteriormente y que puede expresarse de la forma:

$$\mu = 100(1 - e^{-W.L/V.D})$$

L= Longitud total de los campos.

V= Velocidad de paso del gas.

D= Distancia entre los electrodos emisor y colector.

W= Velocidad de migración (m/s).

- Las distribuciones de flujo del gas dentro del electrofiltro son muy importantes. Concretamente, las bocas de entrada suelen disponer de deflectores y chapas perforadas perpendiculares al flujo para conseguir una distribución uniforme.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

- Descarga de los electrodos colectores
- **Vía seca.**
 - Suele realizarse mediante golpeteo. La limpieza se realiza cuando la capa de polvo está comprendida ente 6 y 12 mm (dependiendo de la resistividad del polvo).
 - La descarga de polvo se realiza mientras el electrofiltro está trabajando por lo que parte de las partículas se reincorporan a la corriente gaseosa. Los electrodos emisores, también tienen que limpiarse para eliminar las partículas que hayan podido quedar adheridas.
- **Vía húmeda.**
 - Los colectores se bañan intermitentemente o en continuo por una aspersion de líquido, normalmente agua.
 - Las tolvas de recolección que se utilizan en los electrofiltros secos se reemplazan por un sistema de drenaje.
 - Esto supone, tener que tratar unos lodos para la separación de los sólidos y recirculación de las aguas.

PROTECCION ATMOSFERICA

•ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES PARTICULADOS

•Precipitadores electrostáticos.

• Ventajas:

- alta eficacia
- relativamente moderado consumo de energía
- necesidades de mantenimiento no muy exigentes.
- pueden trabajar, por otra parte, con gases húmedos y a temperaturas relativamente elevadas cercanas a los 400° C.
- son capaces de tratar grandes caudales de gases con elevadas eficacias

• Inconvenientes:

- altas Inversiones
- costes operativos medios
- no suelen ser los equipos últimos de una línea de depuración de gases, y deben continuar en un sistema húmedo o filtros de mangas
- riesgos eléctricos

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

- Los **sistemas de tratamiento** se pueden clasificar en función del **proceso físico-químico** utilizado.

- Procesos de **absorción**.
- Procesos de **adsorción**.
- Procesos de **condensación**.
- Procesos de **oxidación** (combustión y combustión catalítica).
- Procesos de **reducción** catalítica.

- Predominan los aspectos referentes al:

- Equilibrio químico,
- Cinética de reacciones y transporte, incluida la transferencia de materia y calor

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de absorción.**

• **Fundamento:** Se basa en la **solubilidad** de algunos compuestos gaseosos en una **fase líquida** apropiada, seguida, en algunos casos, de una reacción química. La transferencia de materia se realiza por el contacto del gas con el líquido en direcciones controladas principalmente por las concentraciones de los componentes individuales.

• **Aplicación:** Eliminación de **gases inorgánicos**, componentes gaseosos de baja concentración, elevado peso molecular y para moléculas olorosas. **Selección de la fase líquida** en función del tipo del contaminante gaseoso a separar. **Separación simultanea de partículas sólidas** al actuar como lavador

• **Condiciones de operación:**

- bajas temperaturas
- grandes superficies de contacto
- altas relaciones líquido-gas
- altas concentraciones de los compuestos absorbibles en el gas

Para concentraciones de 500 ppm en volumen la eficacia puede ser superior al 98 %.

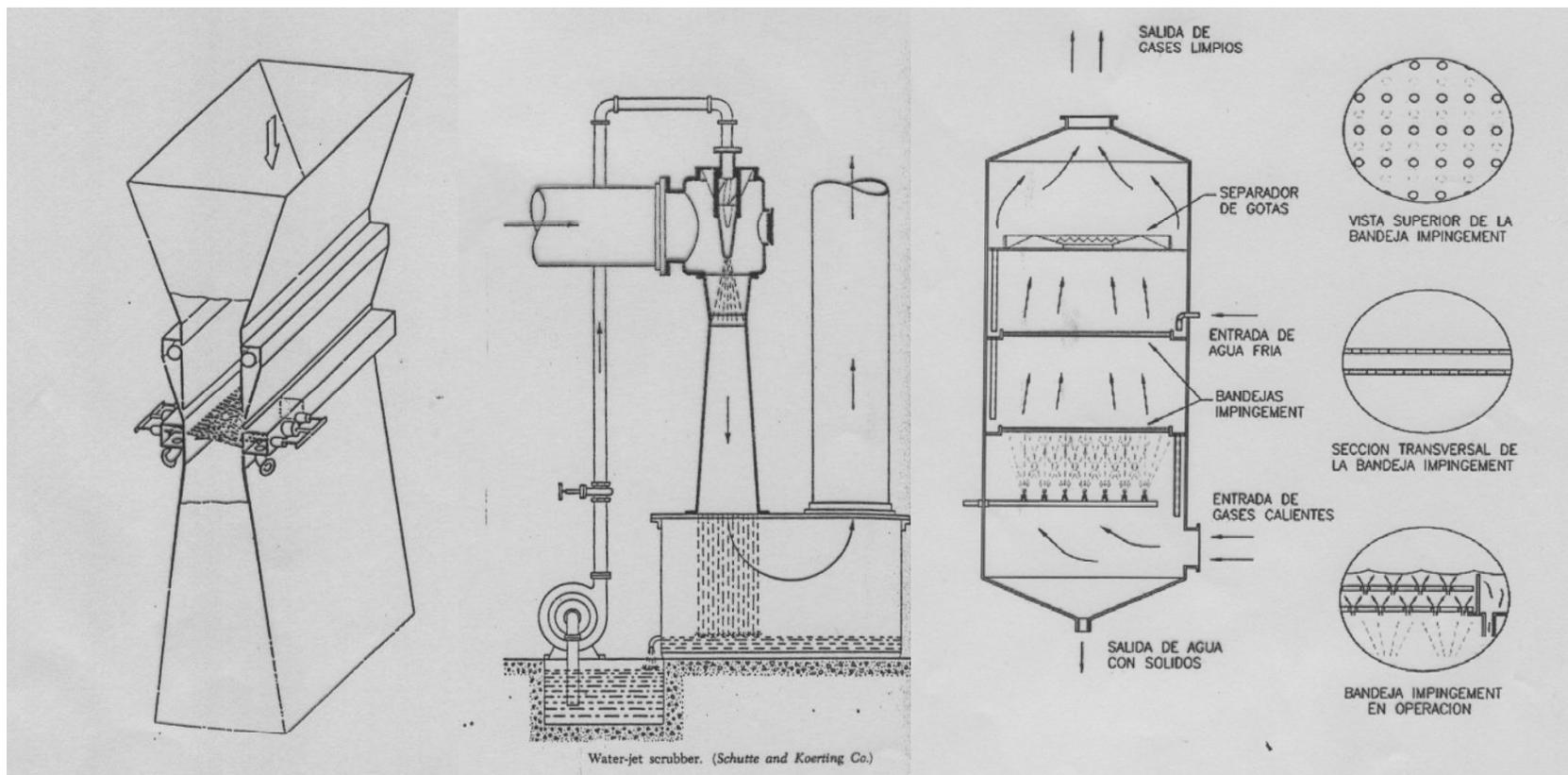
PROTECCION ATMOSFERICA

- **ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS**
- **Proceso de absorción.**
- **Elección del absorbente:**
 - Generalmente **agua**.
 - Disponibilidad, precio, facilidad de manejo, características no tóxicas
 - Estado líquido a temperaturas típicas de operación, carácter de absorbente y disolvente polivalente
 - Sólo en casos muy específicos se puede plantear la utilización de absorbentes diferentes que el agua

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

- Proceso de absorción. EQUIPOS



PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• Proceso de adsorción.

• Fundamento:

- La **adsorción** de una sustancia es su acumulación en una determinada superficie interfacial entre dos fases. El resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido
- Los gases, vapores y líquidos son **retenidos selectivamente** en la superficie o en los poros de un sólido, especialmente preparado, como consecuencia de:
 - proceso de **difusión** de las moléculas gaseosas por el **interior** de los poros
 - **retención** de las mismas sobre la **superficie** del sólido, en sus **centros activos**, por **fuerzas superficiales** ([fuerzas de Van der Waals](#)) o **polares** de baja intensidad
 - formación de **monocapa** en equilibrio
 - con aumento de **presión** hasta bicapa.
 - La cantidad de compuestos retenidos por el adsorbente viene fijada por las **isotermas de adsorción**, por lo que siempre es necesario trabajar a la **menor temperatura** posible
 - Trabajar en la adsorción con gases **exentos de polvos**

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de adsorción.**

• La naturaleza exacta del enlace depende de las particularidades de los especímenes implicados, pero el material adsorbido es generalmente clasificado como fisisorbido o quimisorbido.

• La cantidad de material que se acumula depende del equilibrio dinámico que se alcanza entre la tasa a la cual el material se adsorbe a la superficie y la tasa a la cual se evapora, y que normalmente dependen de forma importante de la temperatura. Cuanto mayor sea la tasa de adsorción y menor la de desorción, mayor será la fracción de la superficie disponible que será cubierta por material adsorbido en el equilibrio

• **Proceso:** Reversible (desorción) o irreversible con fijación por enlaces fuertes sobre superficie.

• **Reversible:** aumento de temperatura o disminución de presión. Gas concentrado. Se reutiliza el sólido.

• **Irreversible:** impregnación del sólido con compuestos químicos. Con I₂ retiene Hg, con Br retiene olefinas, con Pb retiene H₂S, etc. La superficie del sólido se inutiliza.

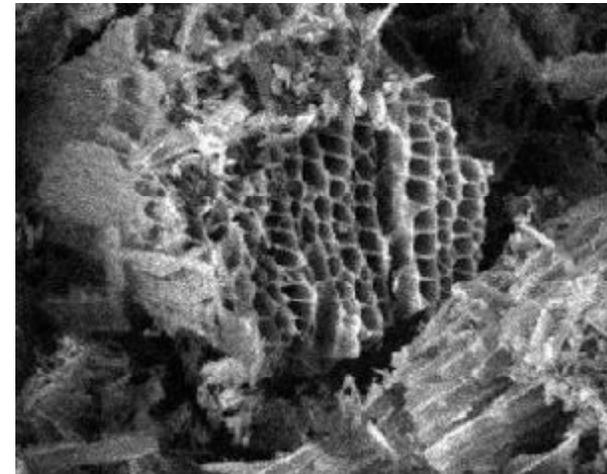
PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de adsorción.**

• El adsorbente dispone de nanoporos, lo que se conoce como centros activos, en los que las fuerzas de enlace entre los átomos no están saturadas. Estos centros activos admiten que se instalen moléculas de naturaleza distinta a la suya, procedentes de un gas en contacto con su superficie.

• La adsorción es un proceso exotérmico y se produce por tanto de manera espontánea si el adsorbente no se encuentra saturado.



Nanoporos en una muestra de carbón activo vista al microscopio electrónico

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• Proceso de adsorción.

• **Medios adsorbentes:** sólidos con elevada porosidad y área superficial para facilitar el contacto sólido-gas, de carácter polar y poco polar.

- Alcanzan superficies superiores a los 400 m²/g.
- En su superficie existen centros activos, con mayor o menor polaridad que son capaces de fijar por enlaces débiles las moléculas gaseosas.

•Tipos:

- Bauxita.
- Carbón activo, utilizado en la eliminación de olores y de compuestos orgánicos.
- Alúmina activada. Deshidratación y depuración de gases con compuestos de flúor,.
- Adsorbentes silíceos. Preferencia hacia moléculas más polares.
- Zeolitas naturales, hidrófilas, denominadas tamices moleculares. Separación selectiva de molécula polares tales como, SH₂ , NH₃ y C₂ H₂ .
- Zeolitas sintéticas, hidrófobas. Se utilizan para la adsorción de moléculas orgánicas de tamaño predeterminado.
- Oxidos metálicos más polares que los silíceos, desecantes y portadores de catalizadores.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de adsorción.**

- la **adsorción** de una sustancia es su acumulación en una determinada superficie interfacial entre dos fases. El resultado es la formación de una película líquida o gaseosa en la superficie de un cuerpo sólido o líquido

• **Capacidad de adsorción:**

Aumenta con:

- peso molecular del compuesto adsorbido,
- polaridad,
- porcentaje de ciclocompuestos que lleve el gas (los compuestos cíclicos se adsorben más fácilmente que los de cadena lineal),
- mayor presión de trabajo.

Disminuye con:

- temperatura de gases
- presencia de agua
- presencia de partículas sólidas o líquidas

• **Regeneración de los sólidos adsorbentes:**

- Con vapor, aire caliente o una combinación de vacío y gas caliente.
- Después de una serie de ciclos el adsorbente pierde su capacidad y debe retirarse definitivamente.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de adsorción.**

• **Ventajas:**

- alta eficacia (superior al 95 %)
- se consigue concentrar los contaminantes (10 a 100 veces el original)
- posibilidad de recuperar los contaminantes para una posterior condensación (orgánicos) o destrucción.
- puede tratar gases con contaminantes con bajas concentraciones

• **Desventajas:**

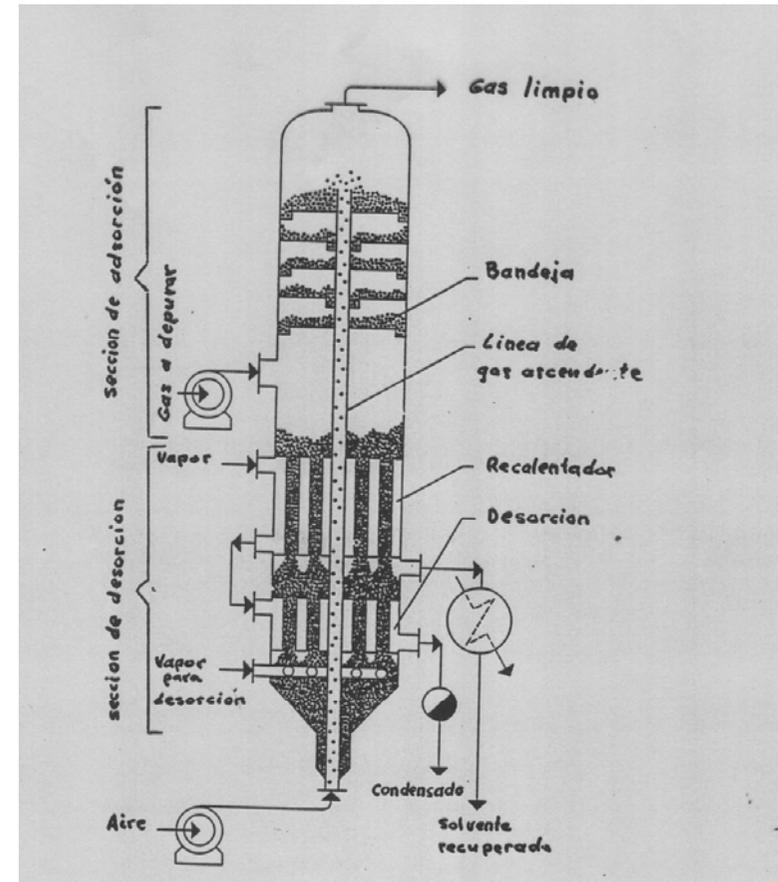
- su coste
- la posible generación de residuos sólidos altamente contaminados cuando el lecho no puede regenerarse
- la producción de agua contaminada cuando se regenera el lecho con vapor directo, con los consiguientes gastos de tratamiento de los nuevos elementos contaminantes.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• Proceso de adsorción.

- Adsorción en continuo con regeneración del adsorbente.
- La zona superior es la zona de adsorción.
- Se alimenta con adsorbente limpio que se envía por transporte neumático desde la zona de desorción (parte inferior).
- El sólido desciende en contracorriente con los gases contaminados.
- El gas sale limpio por la parte superior de la instalación.
- El sólido saturado se recoge en la parte inferior del equipo, creando un cierre que impide el paso de los gases sucios a la zona de regeneración.
- En la zona inferior se calienta el sólido produciendo un desprendimiento del gas. mas concentrado, extrayéndolo al exterior.



PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de condensación.**

• **Fundamento:** consistente en elevar la concentración del contaminante en la corriente gaseosa hasta la saturación y después condensar los contaminantes

- Puede realizarse manteniendo la temperatura constante y **subiendo la presión** o **bajando la temperatura** mientras se mantiene constante la presión. Generalmente se trabaja a presión constante.
- Se utilizan para la **recuperación** de compuestos orgánicos volátiles (**VOC**) y en especial para productos tales como alcoholes, cetonas, hidrocarburos clorados y mezclas de ellos.
- Su **eficacia** suele estar comprendida entre el **50 y 95 %** dependiendo de la concentración del contaminante en la corriente gaseosa. Si esa concentración supera las 5.000 ppmv la eficacia puede superar el 95 %.
- Esta operación **puede ser** una **etapa previa** a la **adsorción** o **incineración** aplicándola sobre una corriente caliente y saturada de gases contaminantes.

• **Ventajas:** recuperación del contaminante, ausencia de problemas de residuos y pequeña necesidad de espacio.

• **Inconvenientes:** limitación de su empleo a corrientes concentradas de contaminante y disponer del gas refrigerante.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• Proceso de condensación.

• Equipos de condensación:

- Condensadores de **superficie**: tipo carcasa y tubos, los vapores condensan en el exterior de los tubos mientras que el refrigerante fluye por el interior.
- Condensadores de **contacto**: los vapores se enfrían atomizando un líquido frío directamente en contacto con el gas.

• Temperatura de condensación:

- Depende de la temperatura del líquido o gas refrigerante, que se seleccionará en función del gas contaminante a condensar,
- Se trabaja a dos niveles:
 - temperaturas cercanas a los 0° C (-10 a +30°C). Agua y mezclas frigoríficas
 - temperaturas inferiores a -60° C (-50 a -100°C). Gases licuados. Sólo cuando están disponibles en fábrica para otros procesos.

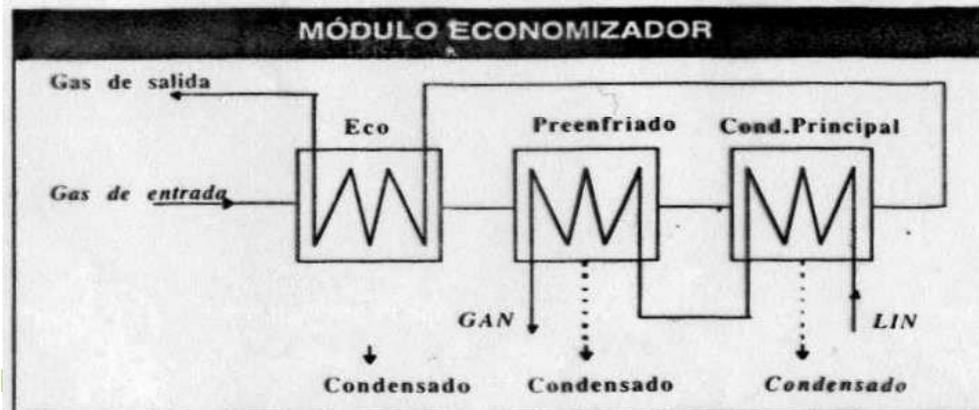
PROTECCION ATMOSFERICA

- **ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS**
- **Proceso de condensación.**
- **Condensación criogénica:**
 - Se utiliza cuando se dispone de gases licuados. Condensación indirecta con intercambiadores de platos o tubos.
 - La vaporización se realiza en el propio sistema de condensación para aprovechar su capacidad frigorífica, y el gas vaporizado se emplea posteriormente en el proceso
- **Inconvenientes de la Condensación criogénica**
 - Producción de hielo por congelación del agua que acompaña a los gases y que puede producir obturaciones en los intercambiadores. Para evitarlo se trabaja en contracorriente, en varias etapas, condensando primero el agua con los gases criogénicos salientes
 - Creación de nieblas que pueden arrastrarse fuera del sistema produciendo contaminaciones y pérdidas. Para impedirlo se enfría lentamente la corriente gaseosa entrante en una etapa intermedia.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS
- Proceso de condensación.
- Condensación criogénica:

COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES		
Compuesto Orgánico Volátil	Límite de Emisiones según la TA-luft (g/Nm ³)	Temperatura de Condensación (°C)
Diclorometano	0.020	< - 95
Tolueno	0.10	- 65
Metiletilcetona	0.15	- 75
Acetona	0.15	- 86
Tetrahidrofurano	0.10	- 90
Metanol	0.15	- 60



que



PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de oxidación**

• **Fundamento:** Destrucción de los compuestos gaseosos orgánicos por oxidación (combustión) transformándolos, principalmente, en CO₂ y vapor de agua.

- Se emplea para reducir o eliminar moléculas orgánicas, humos, olores y materia particulada orgánica en los gases antes de su envío a la atmósfera y en especial COVs
- Este sistema también es válido para determinadas sustancias inorgánicas.

• **Eficacia.**

- El **tiempo de residencia** del gas en el incinerador debe ser suficiente para que se produzca una conversión completa de los compuestos orgánicos a anhídrido carbónico y vapor de agua
- La cantidad de combustible que se aporte, fuel, gas, etc. debe asegurar una **temperatura** lo suficientemente alta para permitir una combustión completa con dicho tiempo de residencia.
- Debe asegurarse una **buena mezcla** de combustible y comburente en el incinerador para lograr la combustión completa.
- **Eficacia** superior al **95%** en condiciones adecuadas de tiempo de residencia y temperatura.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de oxidación**

• **Tipos de oxidación:**

- Combustión térmica **directa**
- Combustión térmica **catalítica**

• **Combustión directa:**

• Semicontrolada

- Ejemplo típico: las antorchas de refinerías o vertederos
- Utilizada para destruir emisiones intermitentes y de emergencia
- El sistema tiene una aplicación específica para un tipo de corrientes de gas
- Acciones para control de la combustión: llama piloto, mezcla, inyección de vapor

• Controlada:

- Combustión en reactor: tiempo de residencia de 0,5 a 2 segundos
- Mantenimiento de temperatura: aporte de calor, temperaturas de 500 a 1300° C
- Recuperación de energía: uso de recuperadores o regeneradores

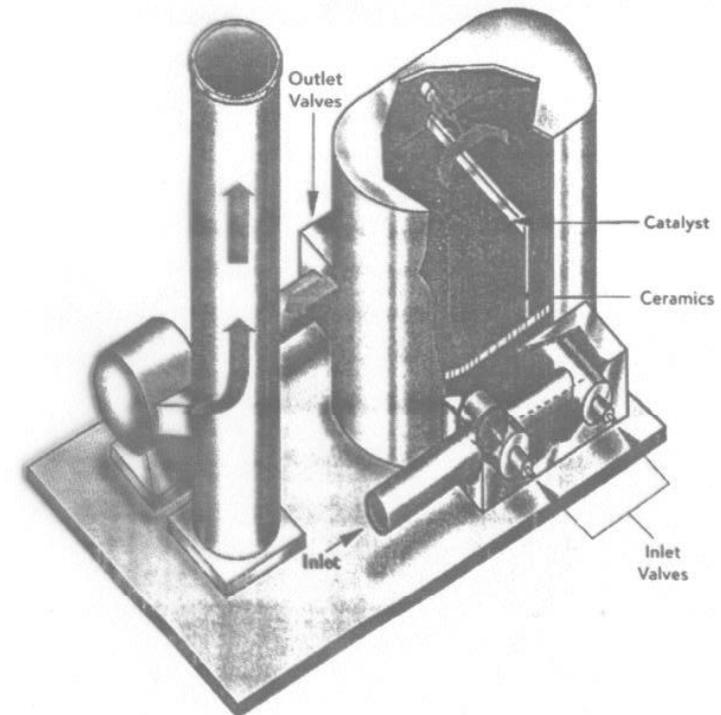
PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• Proceso de oxidación

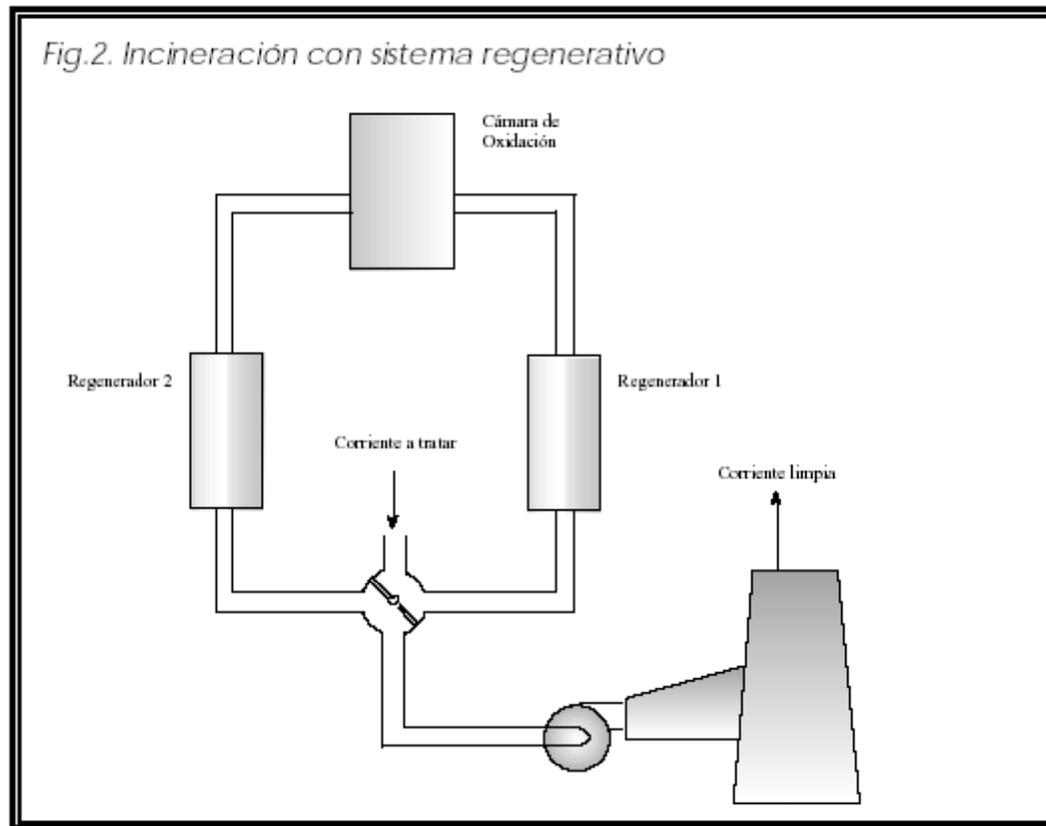
• Combustión catalítica:

- Reactor de oxidación catalítica con regeneración de energía.
 - Cámara de oxidación superior que contiene el catalizador y aporte de energía
 - Lechos a entrada y salida de material refractario para almacenar energía térmica
 - Juego de válvulas para alternar entrada y salida de gases al reactor



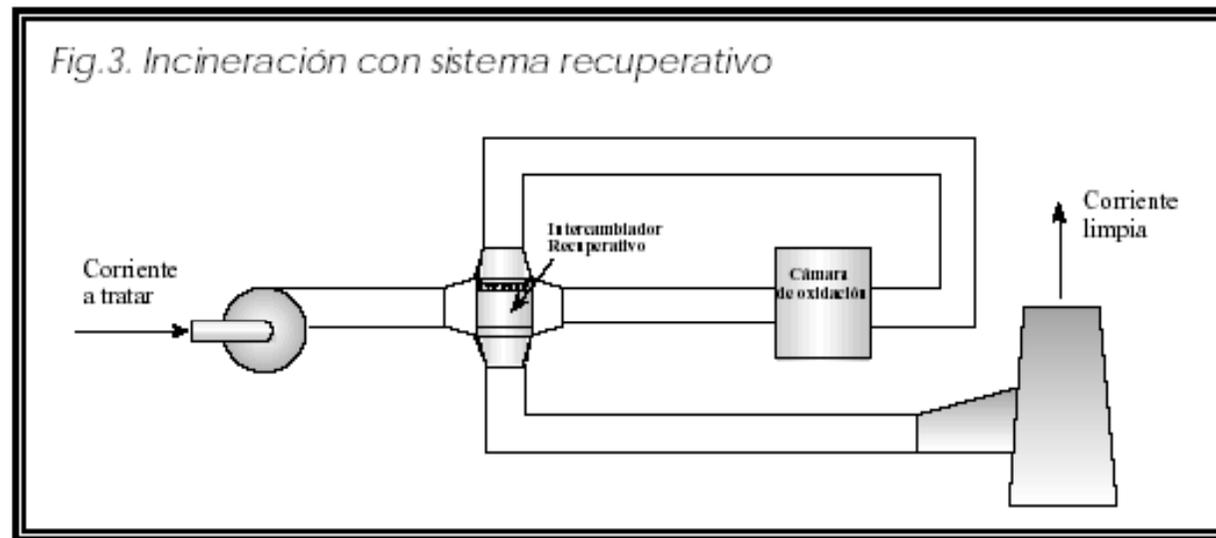
PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS
- **Proceso de oxidación**



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS
- **Proceso de oxidación**



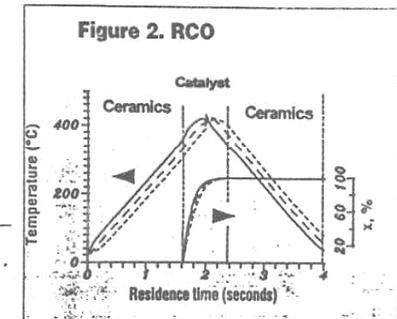
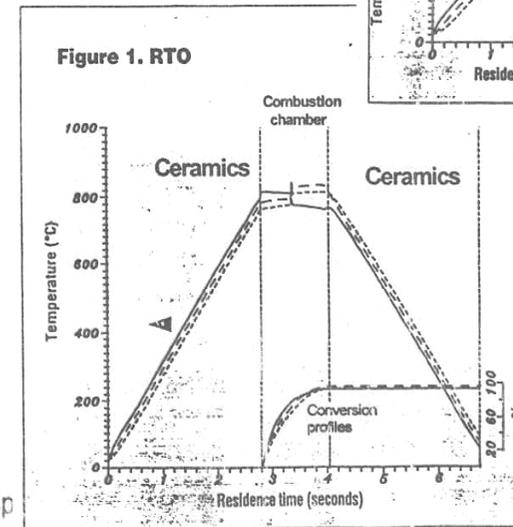
PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• Proceso de oxidación

• Oxidación catalítica regenerativa(RCO) frente a oxidación térmica regenerativa (RTO)

- RCO, menor tiempo de residencia y menor tamaño de instalación (4/7)
- RCO, menor temperatura, 400° C frente a 800° C en RTO, y por lo tanto menor consumo de combustible. Menor generación de NOx
- Menor inversión en equipo e inversión adicional en catalizador.
- No puede tratar todos los gases si existen “venenos” para el catalizador.



CSP

11

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

• **Proceso de oxidación**

• **Ventajas e inconvenientes**

• Ventajas:

- Operación sencilla
- Buena eficacia (superior al 95 %)
- No se forma residuos líquidos o sólidos,
- Tienen escasas necesidades de mantenimiento y una inversión relativamente pequeña.
- Son equipos compactos y ligeros.
- En oxidación catalítica:
 - Disminución de inversión en equipos
 - Bajos costes de combustible

• Inconvenientes

- Gasto de combustible.
- En oxidación catalítica:
 - Aumento de la inversión por catalizador
 - Exigencia de ausencia de “venenos” y polvo

PROTECCION ATMOSFERICA

- **ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS**
- **Proceso de reducción (catalítica)**
- **Fundamento:** Destrucción de compuestos oxidados por reacción con reactivos reductores, en presencia de un catalizador, para transformarlos en gases inertes.
 - Dirigida esencialmente a la **destrucción de gases nitrosos**.
 - **Catalizadores** basados en platino y paladio
 - **Temperaturas** comprendidas entre los 230 y 460 °C.
 - La reducción catalítica debe hacerse **selectiva** con el fin de rebajar el consumo de reactivos.
 - El campo de **aplicación típico** de los sistemas de reducción catalítica es la eliminación de los compuestos nitrosos en gases finales de calderas de carbón, fuel y gas, turbinas de gas, motores diesel estacionarios y marinos, unidades de craqueo catalítico, plantas de incineración, etc.

PROTECCION ATMOSFERICA

- **ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS**

- **Proceso de reducción (catalítica)**

- **Reducción catalítica selectiva.**

- Reducción de los óxidos de nitrógeno mediante **amoníaco** según la reacción:



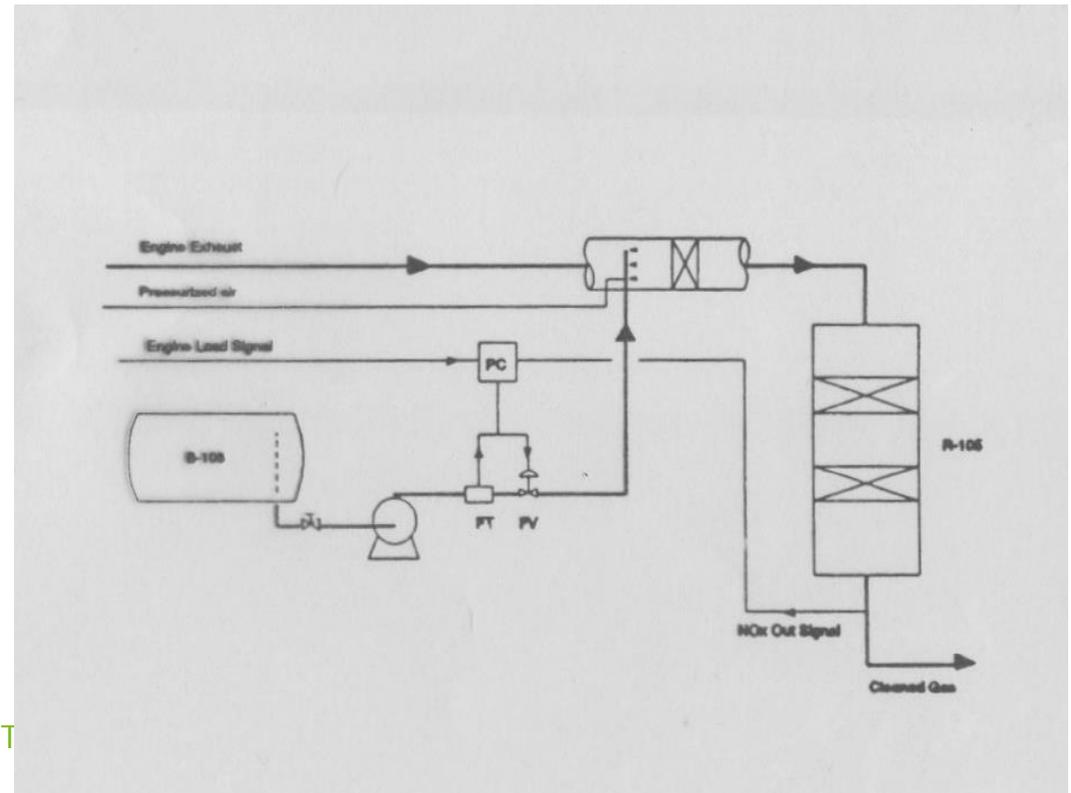
- **Temperatura** entre 300-420 °C en función del tipo de catalizador.
- Los **catalizadores** pueden ser compuestos de titanio, vanadio, platino, soportados en zeolitas o cerámicas que se presentan en un gran número de configuraciones (panales, anillos, “pellets”).

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

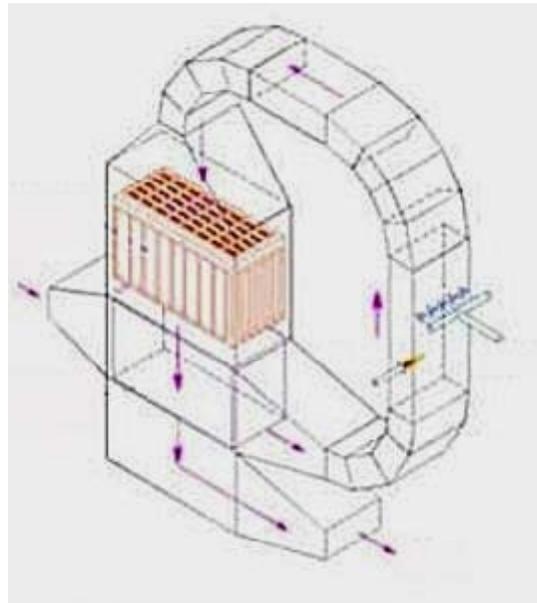
• **Proceso de reducción (catalítica selectiva)**

- En el conducto de entrada al lecho catalítico los gases de combustión se mezclan con amoniaco pulverizado con aire
- El conjunto de gases se hace pasar por un mezclador estático
- La mezcla se introduce por la parte superior de un reactor que contiene el catalizador, habitualmente repartido en dos lechos superpuestos, donde se produce la reacción de reducción.
- Se controla la concentración de NH_3 a la salida para dosificar la entrada de este reactivo al sistema.



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS
- **Proceso de reducción (catalítica selectiva)**



PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES GASEOSOS

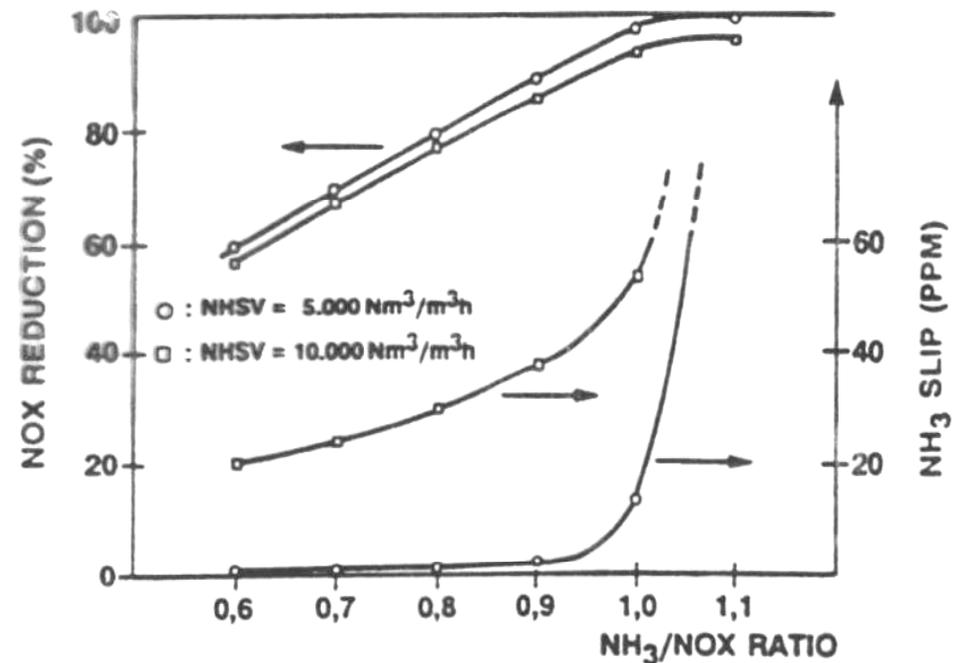
• Proceso de reducción (catalítica selectiva)

- Se limita la reducción a rendimientos que permitan una pequeña presencia de NH_3 en los gases finales.

- Se trabaja con relaciones NH_3/NO_x cercanas a la estequiométrica

- La presencia de amoníaco libre puede producir problemas en las instalaciones posteriores de recuperación de energía.

- Se han desarrollado catalizadores para resistir los envenenamientos por SO_2 como los de titanio y zeolitas



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Anhidrido sulfuroso (SO₂)**

- Contaminante **mas extendido** y sobre el que se ha desarrollado un mayor esfuerzo en su eliminación.
- Sus principales **fuentes** son naturales e industriales, estas últimas derivadas de uso masivo de combustibles y materias primas que contienen azufre.
- El proceso utilizado es el de **absorción**, fundamentalmente **con reacción química**, sin o con recuperación del absorbente utilizado.
- Los sistemas más empleados son los de **lavado húmedo** de la corriente gaseosa mediante una solución acuosa de carbonato cálcico, hidróxido cálcico, hidróxido sódico o bicarbonato.
- Otros sistemas son el lavado en semihúmedo y en seco mediante el empleo de lechadas calcicas o por aplicación directa del reactivo en forma de polvo, respectivamente.
- Los equipos de lavado en húmedo son también capaces de **eliminar partículas** presentes en la corriente gaseosa.

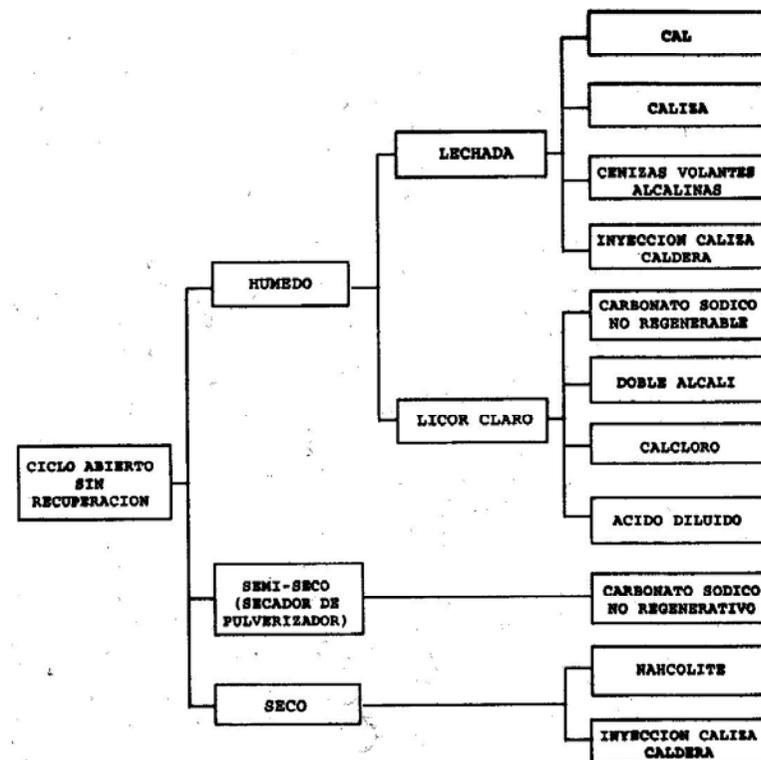
PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

• Anhidrido sulfuroso (SO₂)

• Ciclos abiertos sin recuperación:

- Son los más utilizados
- El reactivo no se regenera
- Se puede trabajar en:
 - Húmedo
 - Semiseco
 - Seco
- De todas las alternativas de reactivos se impone los derivados de Ca (los mas baratos)
- Industrialmente se utilizan los de lechada de cal. Residuo final poco contaminante.



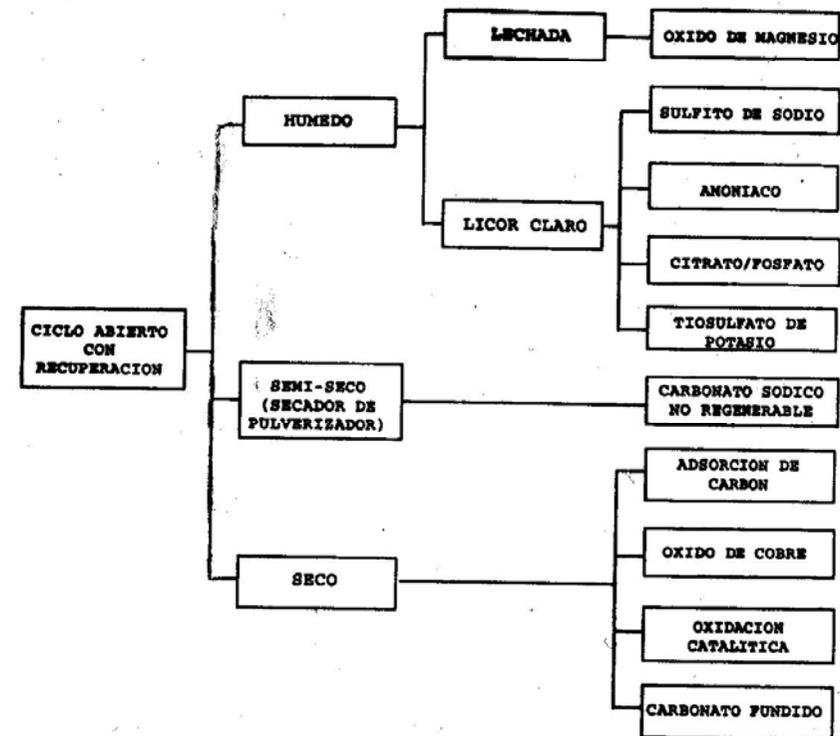
PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

• Anhidrido sulfuroso (SO₂)

• Ciclos abiertos con recuperación:

- Poco interés económico sobre los compuestos de S. resultantes de la recuperación
- Reactivos más caros que los compuestos de Ca.
- Procesos mas complejos con mayor inversión y costes operativos.
- Balance económico sin rentabilidad.

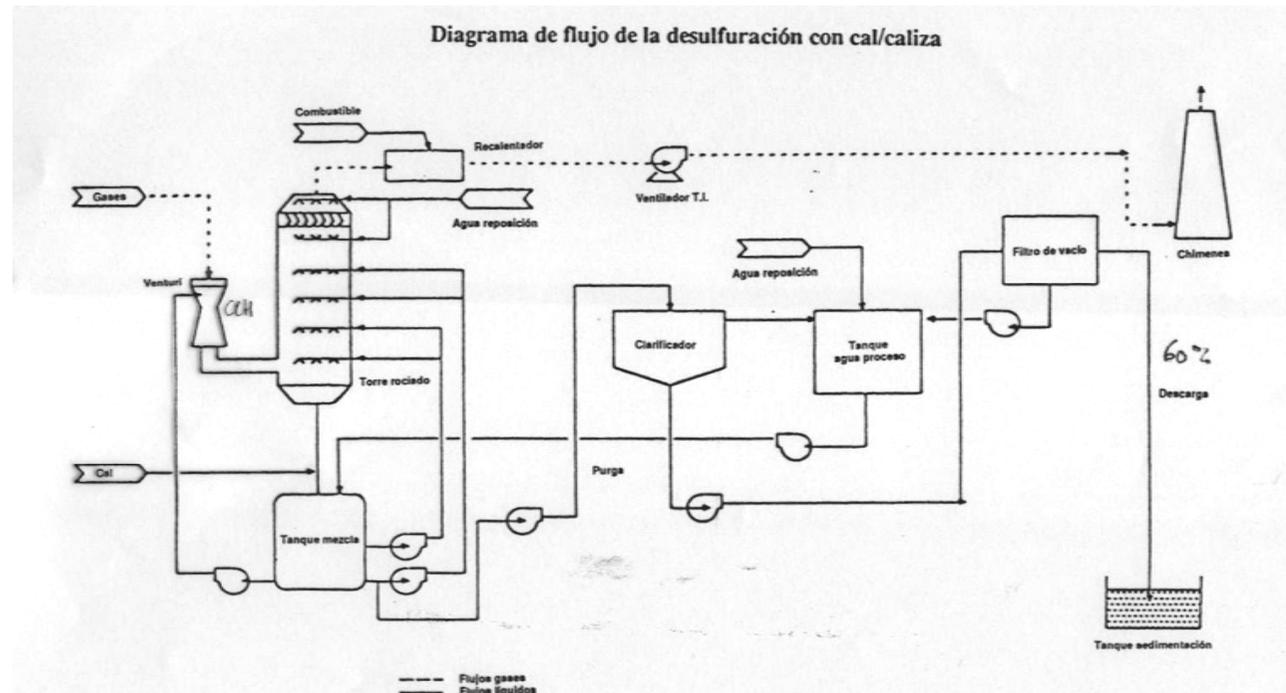


PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Anhidrido sulfuroso (SO₂)**

- Procedimiento industrial más extendido es el de lavado con lechada de cal.



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Contaminación por vehículos.**

- Los motores de explosión interna generan **tres contaminantes** que son de gran importancia por su efecto nocivo para el medio ambiente, en particular para la salud humana

- monóxido de carbono (CO),
- hidrocarburos no quemados (HC)
- óxidos de nitrógeno (NO_x)

- Con relación a estos gases, los vehículos con motor de combustión interna son los responsables de la emisión, aproximada, del:

- 79% del CO,
- 59% de los óxidos de nitrógeno
- 44% de los hidrocarburos no quemados.

PROTECCION ATMOSFERICA

• ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

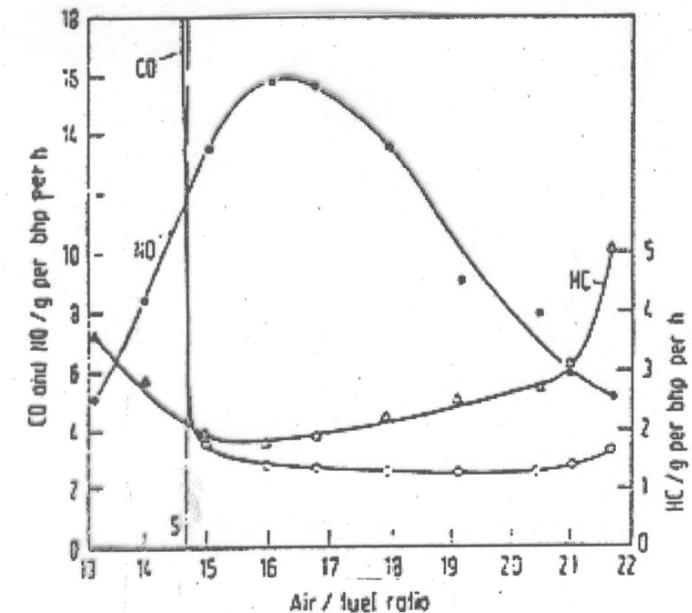
• Contaminación por vehículos.

- La generación de los contaminantes CO, HC y NOx en los gases de escape es una función de la relación **aire/combustible** de la mezcla que se quema en el motor

- Existe un **máximo de NOx** para una relación aire/combustible similar a aquella que producen los niveles **mínimos de HC y CO**. El CO y los HC resultan de la combustión incompleta y su proporción disminuye al aumentar la relación aire/combustible.

- La **composición** de los gases de escape **varía** según el modo de operación del vehículo

- Acelerando aumenta NOx
- Desacelerando aumentan HC y CO



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS
- **Contaminación por vehículos.**
- METODOS DE CONTROL SOBRE LA PRODUCCION DE LOS CONTAMINANTES.
 - 1 Control de la **mezcla** antes de la combustión.
 2. Control del **proceso** de la combustión misma.
 - 3 Control de los **productos** de la combustión.
- Para el **control de los productos** de la combustión se debe realizar un tratamiento de dichos gases de emisión. Para ello, los **convertidores catalíticos** se alzan como la gran alternativa.
- Básicamente, se necesita de dos atmósferas distintas para purificar los gases de escape;
 - el control de **CO y HC** se lleva a cabo utilizando un catalizador de **oxidación** en una atmósfera pobre en combustible;
 - el control de **NOx**, se realiza con un catalizador de **reducción** en una atmósfera rica en combustible.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Contaminación por vehículos.**

- CATALIZADORES

- Se han desarrollado secuencialmente tres tipos de catalizadores

1. Catalizadores de **oxidación**. (USA 1975) Catalizadores Pt y Pd

2. Catalizadores de **reducción**, en el sistema de catalizador dual. (USA 1978) Catalizadores de Rh. En dos lechos

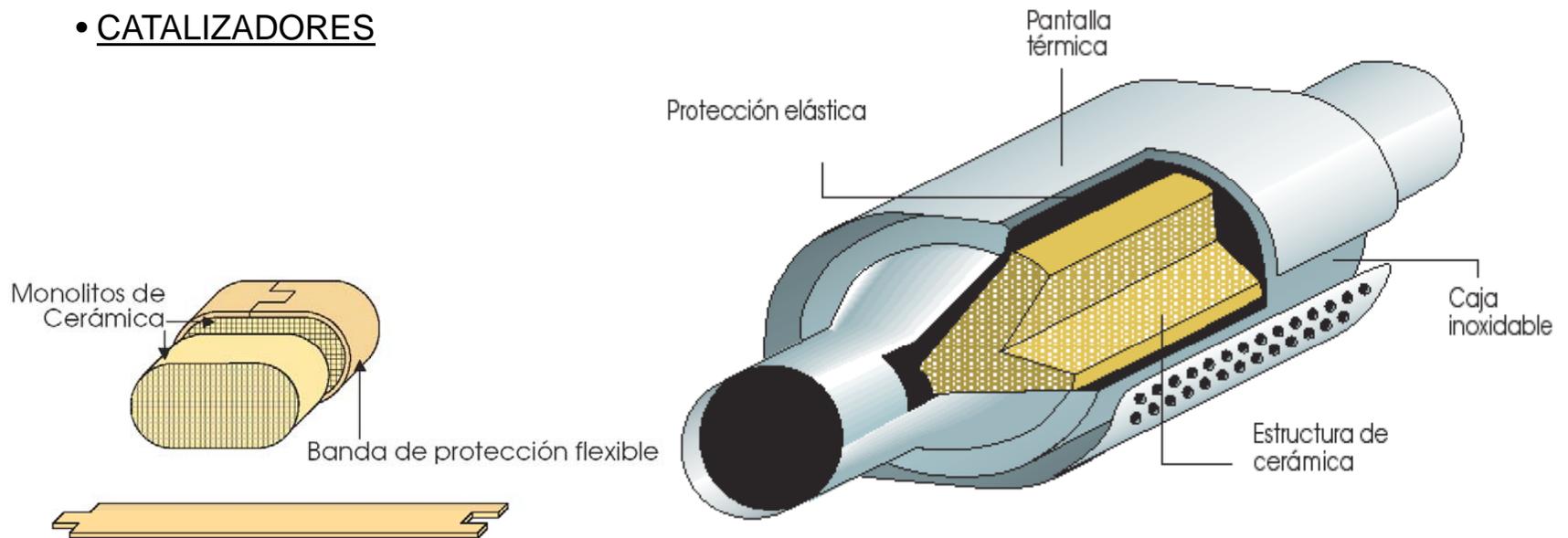
3. Catalizador de **tres vías**, para el control de emisión de CO, HC y NOx en una sola unidad. Un solo lecho, en el cual se encuentran los metales nobles (Pd, Pt y Rh), y por efectuar el control simultáneo de los tres contaminantes.

- Los convertidores catalíticos deben ser muy versátiles, deben operar en condiciones variables y transitorias de temperatura, flujo, velocidad espacial, composición de gases, etc. Forma de pellet y monolíticos.

- Propiedades: Actividad catalítica entre temperatura ambiente y 870 °C, resistencia al envenenamiento, a choques térmicos, a la tracción causada por el flujo turbulento de los gases, vida prolongada.

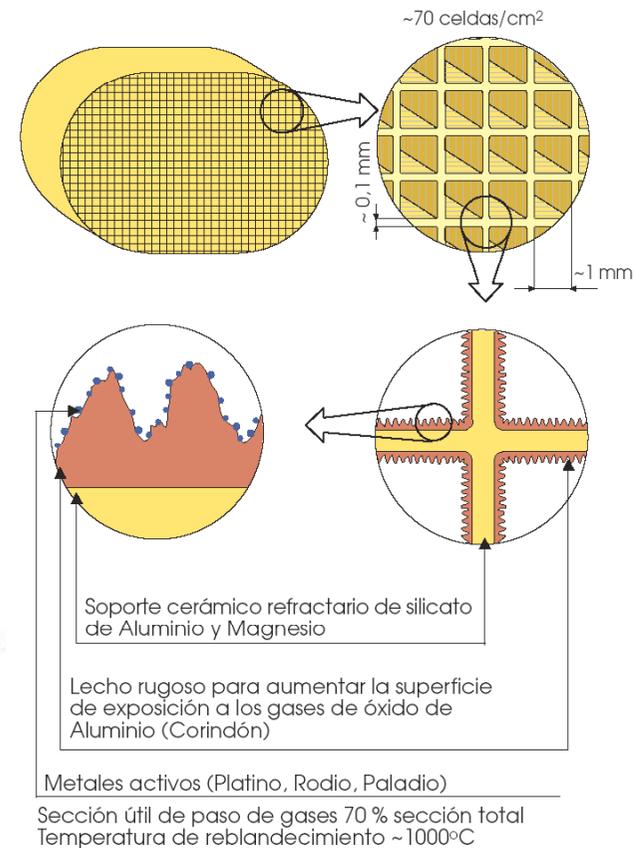
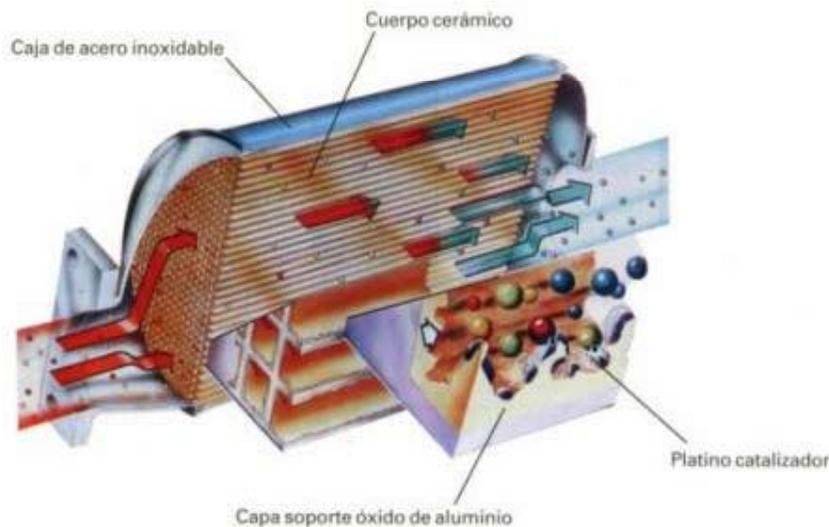
PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS
- **Contaminación por vehículos.**
- CATALIZADORES



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS
- **Contaminación por vehículos.**
- CATALIZADORES



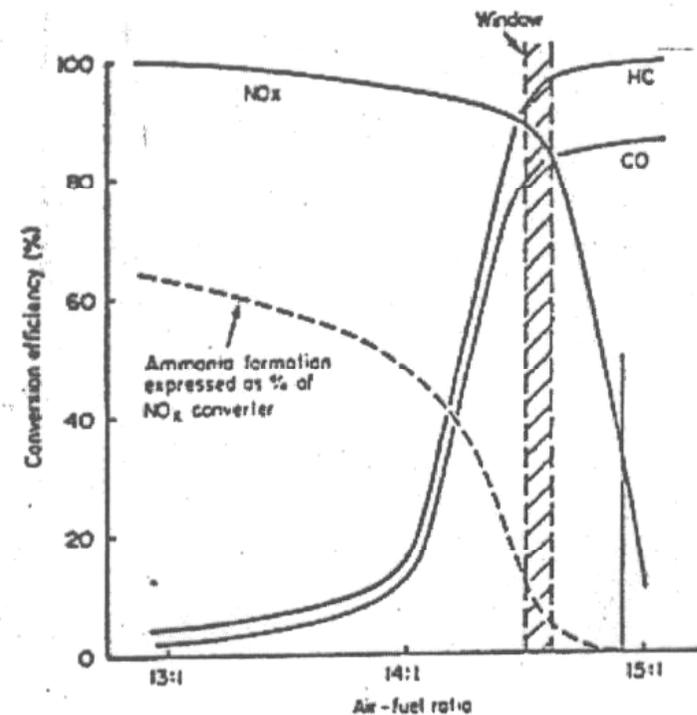
PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Contaminación por vehículos.**

- CATALIZADOR DE TRES VIAS

- La eliminación de los 3 contaminantes atmosféricos de interés (CO, HC y NOx) se realiza en un solo lecho catalítico.
- Para la relación estequiométrica aire/combustible (aproximadamente el 14.7/1), el CO y el NO pueden ser controlados simultáneamente; se emplea el CO para reducir el NO.
- Es esencial mantener dicha relación para evitar aumentos de contaminantes. Nuevas tecnologías de control de la combustión



PROTECCION ATMOSFERICA

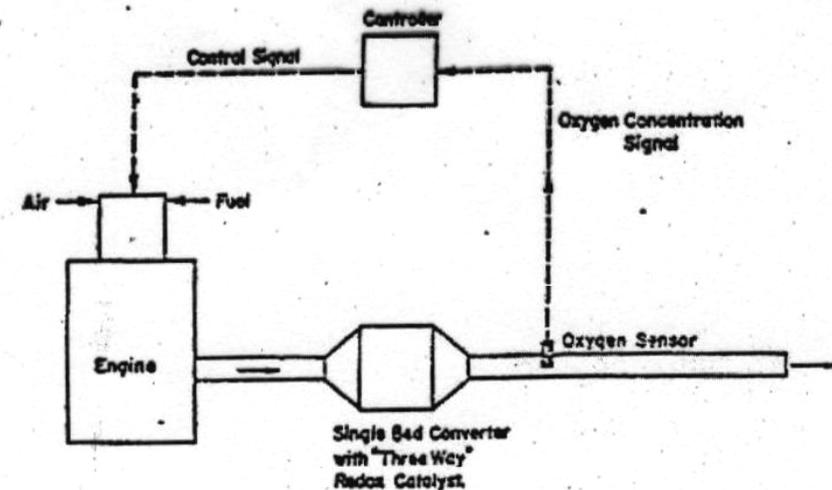
- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Contaminación por vehículos.**

- CONTROL DE LA COMBUSTIÓN

- Inyección electrónica de combustible combinada con un sensor de oxígeno o lambda en los gases de escape.

- Situación del catalizador antes del silenciador, en el tubo de escape, lo más cerca posible del colector de escape del motor.



PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Contaminación por vehículos con motores DIESEL**

- Las emisiones de HC y CO de los motores Diesel, en buenas condiciones de mantenimiento, son **bajas** comparadas con los motores de gasolina, por lo que el problema principal reside en la reducción de los NO_x
- El motor Diesel trabaja con un **exceso de aire**.
- Una reducción de los óxidos de nitrógeno no puede conseguirse, puesto que sólo se logra con defecto de aire. Para reducir los niveles de NO_x los Diesel actuales traen sistemas de recirculación de gases de escape. La entrada dosificada de gases de escape desplaza oxígeno del aire, por lo que baja la temperatura de la combustión y reduce el nivel de emisiones de NO_x
- El principio de funcionamiento del catalizador que se está empleando ahora en los Diesel se basa en la oxidación del CO e HC, pasando a formar dióxido de carbono. Además, el catalizador sirve para reducir considerablemente las emisiones de gases malolientes.

PROTECCION ATMOSFERICA

- ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES ESPECIFICOS

- **Contaminación por vehículos con motores DIESEL**

- El Catalizador consiste en un cuerpo cerámico o metálico monolítico en forma de panal, por el que circulan los gases de escape. Estos interaccionan con el metal noble catalizador (platino, rodio y paladio) depositado en los conductos del cuerpo, generándose las reacciones químicas de **oxidación** que transforman a las sustancias nocivas en inocuas.
- El conjunto está rodeado por una carcasa metálica y por un cuerpo que actúa como aislante térmico y como un medio de fijación y protección mecánica.
- El catalizador Diesel suele tener un inconveniente, igual que los de gasolina: su **rendimiento** sólo es elevado cuando los gases de escape alcanzan **altas temperaturas** (inferiores a 650°C)
- Varios fabricantes de automóviles están sometiendo a prueba a un nuevo tipo de catalizador Diesel, denominado "Denox", capaz de actuar también sobre los óxidos de nitrógeno